IEC 61936-1

Edition 2.1 2014-02

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE

colour inside

Power installations exceeding 1 kV a.c. – Part 1: Common rules

Installations électriques en courant alternatif de puissance supérieure à 1 kV – Partie 1: Règles communes

IEC 61936-1:2010-08+AMD1:2014-02 CSV(en-fr)

THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC
The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications
The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue
The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub
The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,…). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished
Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org
The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary
More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc
If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC
La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC
Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue
Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub
La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,…). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished
Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org
Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary
Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc
Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

IEC 61936-1

Edition 2.1 2014-02

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE

colour inside

Power installations exceeding 1 kV a.c. – Part 1: Common rules

Installations électriques en courant alternatif de puissance supérieure à 1 kV – Partie 1: Règles communes

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ICS 29.020; 29.080.01

ISBN 978-2-8322-1432-9

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

IEC 61936-1

Edition 2.1 2014-02

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE

colour inside

Power installations exceeding 1 kV a.c. – Part 1: Common rules

Installations électriques en courant alternatif de puissance supérieure à 1 kV – Partie 1: Règles communes

IEC 61936-1:2010-08+AMD1:2014-02 CSV(en-fr)

CONTENTS

CONTENTS 2
FOREWORD 7
INTRODUCTION 10
1 Scope 11
2 Normative references 12
3 Terms and definitions 15
3.1 General definitions 15
3.2 Definitions concerning installations 17
3.3 Definitions concerning types of installations 17
3.4 Definitions concerning safety measures against electric shock 18
3.5 Definitions concerning clearances 18
3.6 Definitions concerning control and protection 19
3.7 Definitions concerning earthing 20
4 Fundamental requirements 24
4.1 General 24
4.1.1 General requirements 24
4.1.2 Agreements between supplier (manufacturer) and user 24
4.2 Electrical requirements 25
4.2.1 Methods of neutral earthing 25
4.2.2 Voltage classification 26
4.2.3 Current in normal operation 26
4.2.4 Short-circuit current 26
4.2.5 Rated frequency 27
4.2.6 Corona 27
4.2.7 Electric and magnetic fields 27
4.2.8 Overvoltages 27
4.2.9 Harmonics 27
4.3 Mechanical requirements 27
4.3.1 Equipment and supporting structures 27
4.3.2 Tension load 28
4.3.3 Erection load 28
4.3.4 Ice load 28
4.3.5 Wind load 28
4.3.6 Switching forces 28
4.3.7 Short-circuit forces 29
4.3.8 Loss of conductor tension 29
4.3.9 ~~Vibration~~ Seismic loads 29
4.3.10 Dimensioning of supporting structures 29
4.4 Climatic and environmental conditions 29
4.4.1 General 29
4.4.2 Normal conditions 30
4.4.3 Special conditions 31
4.5 Special requirements 32
4.5.1 Effects of small animals and micro-organisms 32
4.5.2 Noise level 33
4.5.3 Transport 33

5 Insulation 33
5.1 General 33
5.2 Selection of insulation level 33
5.2.1 Consideration of methods of neutral earthing 33
5.2.2 Consideration of rated withstand voltages 33
5.3 Verification of withstand values 33
5.4 Minimum clearances of live parts 34
5.4.1 General 34
5.4.2 Minimum clearances in voltage range I 34
5.4.3 Minimum clearances in voltage range II 34
5.5 Minimum clearances between parts under special conditions 37
5.6 Tested connection zones 37
6 Equipment 37
6.1 General requirements 37
6.1.1 Selection 37
6.1.2 Compliance 37
6.1.3 Personnel safety 37
6.2 Specific requirements 38
6.2.1 Switching devices 38
6.2.2 Power transformers and reactors 38
6.2.3 Prefabricated type-tested switchgear 39
6.2.4 Instrument transformers 39
6.2.5 Surge arresters 40
6.2.6 Capacitors 40
6.2.7 Line traps 40
6.2.8 Insulators 40
6.2.9 Insulated cables 41
6.2.10 Conductors and accessories 43
6.2.11 Rotating electrical machines 43
6.2.12 Generating units 44
6.2.13 Generating unit main connections 44
6.2.14 Static converters 45
6.2.15 Fuses 45
6.2.16 Electrical and mechanical Interlocking 45
7 Installations 46
7.1 General requirements 46
7.1.1 Circuit arrangement 46
7.1.2 Documentation 47
7.1.3 Transport routes 47
7.1.4 Aisles and access areas 47
7.1.5 Lighting 47
7.1.6 Operational safety 48
7.1.7 Labelling 48
7.2 Outdoor installations of open design 48
7.2.1 Protective barrier clearances 48
7.2.2 Protective obstacle clearances 49
7.2.3 Boundary clearances 49
7.2.4 Minimum height over access area 49
7.2.5 Clearances to buildings 49

7.2.6 External fences or walls and access doors 50
7.3 Indoor installations of open design 50
7.4 Installation of prefabricated type-tested switchgear 50
7.4.1 General 50
7.4.2 Additional requirements for gas-insulated metal-enclosed switchgear 51
7.5 Requirements for buildings 52
7.5.1 Introduction 52
7.5.2 Structural provisions 52
7.5.3 Rooms for switchgear 53
7.5.4 Maintenance and operating areas 54
7.5.5 Doors 54
7.5.6 Draining of insulating liquids 55
7.5.7 Air conditioning and ventilation 55
7.5.8 Buildings which require special consideration 55
7.6 High voltage/low voltage prefabricated substations 55
7.7 Electrical installations on mast, pole and tower 56
8 Safety measures 63
8.1 General 63
8.2 Protection against direct contact 63
8.2.1 Measures for protection against direct contact 63
8.2.2 Protection requirements 64
8.3 Means to protect persons in case of indirect contact 65
8.4 Means to protect persons working on electrical installations 65
8.4.1 Equipment for isolating installations or apparatus 65
8.4.2 Devices to prevent reclosing of isolating devices 66
8.4.3 Devices for determining the de-energized state 66
8.4.4 Devices for earthing and short-circuiting 66
8.4.5 Equipment acting as protective barriers against adjacent live parts 67
8.4.6 Storage of personal protection equipment 68
8.5 Protection from danger resulting from arc fault 68
8.6 Protection against direct lightning strokes 68
8.7 Protection against fire 69
8.7.1 General 69
8.7.2 Transformers, reactors 69
8.7.3 Cables 73
8.7.4 Other equipment with flammable liquid 73
8.8 Protection against leakage of insulating liquid and SF_6 73
8.8.1 Insulating liquid leakage and subsoil water protection 73
8.8.2 SF_6 leakage 75
8.8.3 Failure with loss of SF_6 and its decomposition products 75
8.9 Identification and marking 75
8.9.1 General 75
8.9.2 Information plates and warning plates 76
8.9.3 Electrical hazard warning 76
8.9.4 Installations with incorporated capacitors 76
8.9.5 Emergency signs for emergency exits 76
8.9.6 Cable identification marks 76
9 Protection, control and auxiliary systems 83
9.1 Monitoring and control systems 83

9.2 DC and AC supply circuits 84
9.2.1 General 84
9.2.2 AC supply 84
9.2.3 DC supply 85
9.3 Compressed air systems 85
9.4 SF_6 gas handling plants 86
9.5 Hydrogen handling plants 86
9.6 Basic rules for electromagnetic compatibility of control systems 87
9.6.1 General 87
9.6.2 Electrical noise sources in high voltage installations 87
9.6.3 Measures to be taken to reduce the effects of high frequency interference 87
9.6.4 Measures to be taken to reduce the effects of low frequency interference 88
9.6.5 Measures related to the selection of equipment 88
9.6.6 Other possible measures to reduce the effects of interference 89
10 Earthing systems 89
10.1 General 89
10.2 Fundamental requirements 89
10.2.1 Safety criteria 89
10.2.2 Functional requirements 90
10.2.3 High and low voltage earthing systems 90
10.3 Design of earthing systems 91
10.3.1 General 91
10.3.2 Power system faults 92
10.3.3 Lightning and transients 92
10.4 Construction of earthing systems 93
10.5 Measurements 93
10.6 Maintainability 93
10.6.1 Inspections 93
10.6.2 Measurements 93
11 Inspection and testing 94
11.1 General 94
11.2 Verification of specified performances 95
11.3 Tests during installation and commissioning 95
11.4 Trial running 95
12 Operation and maintenance manual 96
Annex A (normative) Values of rated insulation levels and minimum clearances based on current practice in some countries 97
Annex B (normative) Method of calculating permissible touch voltages 100
Annex C (normative) Permissible touch voltage according IEEE 80 101
Annex D (normative) Earthing system design flow chart 102
Annex E (informative) Protection measures against direct lightning strokes 104
Bibliography 108

Figure 1 – Protection against direct contact by protective barriers/protective obstacles within closed electrical operating areas 57
Figure 2 – Boundary distances and minimum height at the external fence/wall 59

Figure 3 – Minimum heights and working clearances within closed electrical operating areas 60
Figure 4 – Approaches with buildings (within closed electrical operating areas) 61
Figure 5 – Minimum approach distance for transport 62
Figure 6 – Separating walls between transformers 77
Figure 7 – Fire protection between transformer and building 80
Figure 8 – Sump with integrated catchment tank 81
Figure 9 – Sump with separate catchment tank 81
Figure 10 – Sump with integrated common catchment tank 82
Figure 11 – Example for small transformers without gravel layer and catchment tank 82
Figure 12 – Permissible touch voltage U_{Tp} 94
Figure C.1 – Permissible touch voltage U_{Tp} according IEEE 80 101
Figure E.1 – Single shield wire 105
Figure E.2 – Two shield wires 105
Figure E.3 – Single lightning rod 106
Figure E.4 – Two lightning rods 107

Table 1 – Minimum clearances in air – Voltage range I (1 kV < U_m ≤ 245 kV) 35
Table 2 – Minimum clearances in air – Voltage range II (U_m > 245 kV) 36
Table 3 – Guide values for outdoor transformer clearances 71
Table 4 – Minimum requirements for the installation of indoor transformers 72
Table 5 – Minimum requirements for interconnection of low-voltage and high-voltage earthing systems based on EPR limits 91
Table A.1 – Values of rated insulation levels and minimum clearances in air for 1 kV < U_m ≤ 245 kV for highest voltage for installation U_m not standardized by the IEC based on current practice in some countries 97
Table A.2 – Values of rated insulation levels and minimum clearances in air for 1 kV < U_m ≤ 245 kV for highest voltage for installation U_m not standardized by IEC based on current practice in some countries 98
Table A.3 – Values of rated insulation levels and minimum clearances in air for U_m > 245 kV for highest voltages for installation U_m not standardized by IEC based on current practice in some countries 99

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER INSTALLATIONS EXCEEDING 1 kV AC –

Part 1: Common rules

FOREWORD

1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

This Consolidated version of IEC 61936-1 bears the edition number 2.1. It consists of the second edition (2010-08) [documents 99/95/FDIS and 99/96/RVD] and its amendment 1 (2014-02) [documents 99/129/FDIS and 99/131/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

In this Redline version, a vertical line in the margin shows where the technical content is modified by amendment 1. Additions and deletions are displayed in red, with deletions being struck through. A separate Final version with all changes accepted is available in this publication.

This publication has been prepared for user convenience.

International Standard IEC 61936-1 has been prepared by IEC technical committee 99: System engineering and erection of electrical power installations in systems with nominal voltages above 1 kV a.c. and 1,5 kV d.c., particularly concerning safety aspects.

The main changes with respect to the previous edition are listed below:

- new table of references for additional agreements between manufacturer/contractor/planer and user/orderer/owner (4.1.2)
- addition of minimum clearances in air not standardized by IEC but based on current practice in some countries (Annex A)
- deletion of nominal voltages (Table 1, Table 2, Clause 5)
- addition of regulations for fuses (6.2.15)
- simplification of regulations for escape routes (7.5.4)
- deletion of special regulations for operating aisles (7.5.4)
- modification of clearances for fire protection (Table 3)
- modification of safety criteria for earthing systems (10.2.1)
- modified curves of permissibly touch voltages (Figure 12, Annex B)
- deletion of numbering of subclauses without headlines
- change of "should" to "shall" in many cases or change of subclauses with "should" to a note

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all the parts[1] in the IEC 61936 series, under the general title *Power installations exceeding 1 kV a.c.*, can be found on the IEC website

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendment will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "http://webstore.iec.ch" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

The following differences exist in the countries indicated below.

- 4.3.2: The combinations are for example: –40 °C without ice and without wind; –0 °C with ice and without wind; –20 °C with wind. For special projects even value –50 °C without ice and without wind could be needed (Finland)
- 4.4.2.2a: Even class –50 °C could be needed (Finland)
- 6.2.4.1: It shall not be fuses in conductors from current transformers (Norway)
- 7.2.1: Barriers for outdoor installations shall have a minimum height of 2,0 m. They shall fulfil the same requirements as the external fence. The minimum height of live parts behind a barrier shall be N + 300 mm with a minimum of 800 mm (Finland)
- 7.2.2: The use of protective method obstacles is not allowed in electrical installations outside of buildings (Finland)
- 7.2.2: Rails, chains and ropes are not allowed as obstacles (Sweden)
- 7.2.2: The height H for outdoor installations shall be at least H = N + 2 500 mm, with a minimum of 3 000 mm (Sweden)
- 7.2.4: The height H for outdoor installations shall be at least H = N + 2 500 mm, with a minimum of 3 000 mm (Sweden)

[1] At the time of writing, future parts are still under consideration.

- 7.2.4: The height H for outdoor installations shall be at least $H = N + 2\,600$ mm, with a minimum of 2 800 mm (Finland)
- 7.2.6: The height of the external fence shall be at least 2 000 mm. The local conditions of snow shall be taken into account (Finland)
- 7.2.6: The height of the external fence shall be at least 2 500 mm (Australia)
- 7.2.6: 50 mm × 200 mm mesh is not accepted (Australia)
- 7.2.6: Guidance regarding fence construction can be found at ENA Doc 015 (Australia)
- 7.3: The use of indoor installations of open design is not allowed (Finland)
- 7.3: A rail shall be of not conductive material in the colours yellow/black behind (cell) doors and openings wider than 0,5 m (Norway)
- 7.3: Rails, chains and ropes are not allowed as obstacle (Sweden)
- 7.4.1: Outside closed electrical operation areas equipment and cables shall either be constructed with an earthed intermediate shield or be protected against unintentional contact by placing out of reach. With an earthed intermediate shield, a metal enclosure for equipment or a screen for cables are understood (Sweden)
- 7.5.4: Gangways longer than 10 m shall be accessible from both ends. Indoor closed restricted access areas with length exceeding 20 m shall be accessible by doors from both ends (See IEC 60364-7-729) (Sweden)
- 7.5.8: Installations that are difficult to evacuate like Installations in underground, in mountains, wind-power stations e.g. special conditions shall be imposed to secure safe evacuation in case of fire or accident (Norway)
- 7.7: The minimum height H' of live parts above surfaces accessible to the general public shall be:

  - H' = 5 500 mm for rated voltages U_m up to 24 kV

  - $H' = N + 5\,300$ mm for rated voltages U_m above 24 kV (Finland)
- 8.2: Exposed conductive parts shall be earthed. Also extraneous conductive parts which by faults, induction, or influence could become live and be a hazard to persons or damage to property shall be earthed (Sweden)
- 8.2.1.2: The minimum height of protective barriers is 2 300 mm (Finland)
- 8.2.1.2: Rails, chains and ropes are not allowed as obstacles (Sweden)
- 8.2.2.1: Outside closed electrical operation areas equipment and cables shall either be constructed with an earthed intermediate shield or be protected against unintentional contact by placing out of reach. With an earthed intermediate shield, a metal enclosure for equipment or a screen for cables are understood (Sweden)
- 8.2.2.2: Rails, chains and ropes are not allowed as obstacles (Sweden)
- 8.2.2.2: The use of protective method obstacles is not allowed in electrical installations of buildings. The use of protective method placing out of reach is restricted only to situations where the use of insulation or enclosures or barriers is not practicable (Finland)
- 8.7.1: Fire rating of barriers must be a minimum fire rating of 120 minutes (Australia)
- 8.7.2: The dimensions *G*1 and *G*2 are to be measured from the inside edge wall of any bund wall rather than the measured point shown in Figure 7a) and 7b) from the transformer where the bund wall is wider than the transformer (Australia)
- 8.7.2.1: For transformers with below 1000 l special conditions are listed in FEF 2006 §4-9 (Norway)
- 8.8.1.3: Spill containment should extend by 50 % of the height of the transformer (Australia)
- 8.9.1: Warning signs, markings and identifications shall be in Norwegian and special cases additional marking in other language (Norway)
- 10.2.1 and Annex B: Health & Safety Executive (HSE) has advised that HV earthing systems should be designed according to tolerable voltages based on body impedances not exceeded by 5% of the population, as given in Table 1 of IEC60479-1:2005 (UK)
- 10.2.1: Permissible touch and step voltages in power installations shall be in accordance with the Federal law concerning electrical installations (High and low voltage) (SR 734.0) and the Regulations for electrical power installations (SR 743.2 StV) (Switzerland)
- Figure 1: Rails, chains and ropes are not allowed as obstacles (Sweden)
- Figure 7a): The dimensions G1 and G2 are to be measured from the inside edge wall of any bund wall rather than the measured point shown in Figure 7a) from the transformer where the bund wall is wider than the transformer (Australia)
- Figure 7b): The dimensions G1 and G2 are to be measured from the inside edge wall of any bund wall rather than the measured point shown in Figure 7b) from the transformer where the bund wall is wider than the transformer (Australia)
- Clause 10: For requirements regarding earthing refer to AS 2067, Substations and High Voltage Installations (Australia)

The contents of the corrigendum of March 2011 have been included in this copy.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

There are many national laws, standards and internal rules dealing with the matter coming within the scope of this standard and these practices have been taken as a basis for this work.

This part of IEC 61936 contains the minimum requirements valid for IEC countries and some additional information which ensures an acceptable reliability of an installation and its safe operation.

The publication of this standard is believed to be a decisive step towards the gradual alignment all over the world of the practices concerning the design and erection of high voltage power installations.

Particular requirements for transmission and distribution installations as well as particular requirements for power generation and industrial installations are included in this standard.

The relevant laws or regulations of an authority having jurisdiction takes precedence.

POWER INSTALLATIONS EXCEEDING 1 kV AC –

Part 1: Common rules

1 Scope

This part of IEC 61936 provides common rules for the design and the erection of electrical power installations in systems with nominal voltages above 1 kV a.c. and nominal frequency up to and including 60 Hz, so as to provide safety and proper functioning for the use intended.

For the purpose of interpreting this standard, an electrical power installation is considered to be one of the following:

a) Substation, including substation for railway power supply

b) Electrical installations on mast, pole and tower

Switchgear and/or transformers located outside a closed electrical operating area

c) One (or more) power station(s) located on a single site

The installation includes generators and transformers with all associated switchgear and all electrical auxiliary systems. Connections between generating stations located on different sites are excluded.

d) The electrical system of a factory, industrial plant or other industrial, agricultural, commercial or public premises

e) Electrical installations erected on offshore platforms e.g. offshore wind power farms.

The electrical power installation includes, among others, the following equipment:

– rotating electrical machines;
– switchgear;
– transformers and reactors;
– converters;
– cables;
– wiring systems;
– batteries;
– capacitors;
– earthing systems;
– buildings and fences which are part of a closed electrical operating area;
– associated protection, control and auxiliary systems;
– large air core reactor.

NOTE In general, a standard for an item of equipment takes precedence over this standard.

This standard does not apply to the design and erection of any of the following:

– overhead and underground lines between separate installations;
– electric railways;
– mining equipment and installations;
– fluorescent lamp installations;
– installations on ships according to IEC 60092 [34] series and offshore ~~installations;~~ units according to IEC 61892 [35] series, which are used in the offshore petroleum industry for drilling, processing and storage purposes.

– electrostatic equipment (e.g. electrostatic precipitators, spray-painting units);

– test sites;

– medical equipment, e.g. medical X-ray equipment.

This standard does not apply to the design of ~~factory-built~~ prefabricated, type-tested switchgear and high voltage/low voltage prefabricated substation, for which separate IEC standards exist.

This standard does not apply to the requirements for carrying out live working on electrical installations.

If not otherwise required in this standard, for low-voltage electrical installations the standard series IEC 60364 applies.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60034-1, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*

IEC 60034-3, *Rotating electrical machines – Part 3: Specific requirements for synchronous generators driven by steam turbines or combustion gas turbines*

IEC 60060-1, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60071-1, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60071-2:1996, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide*

IEC 60076-2:1993, *Power transformers – Part 2: Temperature rise*

IEC 60076-11, *Power transformers – Part 11: Dry-type transformers*

IEC 60079-0, *Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements*

IEC 60079-10-1, *Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres*

IEC 60079-10-2, *Explosives atmospheres – Part 10-2: Classification of areas – Combustible dust atmospheres*

IEC 60255 (all parts), *Measuring relays and protection equipment*

IEC 60331-21, *Tests for electric cables under fire conditions – Circuit integrity – Part 21: Procedures and requirements – Cables of rated voltage up to and including 0,6/1,0 kV*

IEC 60331-1, *Tests for electric cables under fire conditions – Circuit integrity – Part 1: Test method for fire with shock at a temperature of at least 830 °C for cables of rated voltage up to and including 0,6/1,0 kV and with an overall diameter exceeding 20 mm*

IEC 60332 (all parts), *Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions*

IEC 60364 (all parts), *Low-voltage electrical installations*

IEC/TS 60479-1:2005, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects*

IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC 60617, *Graphical symbols for diagrams*

IEC 60721-2-6, *Classification of environmental conditions – Part 2-6: Environmental conditions appearing in nature – Earthquake vibration and shock*

IEC 60721-2-7, *Classification of environmental conditions – Part 2-7: Environmental conditions appearing in nature. Fauna and flora*

IEC 60754-1, *Test on gases evolved during combustion of materials from cables – Part 1: Determination of the amount of halogen acid gas*

IEC 60754-2, *Test on gases evolved during combustion of electric cables – Part 2: Determination of degree of acidity of gases evolved during the combustion of materials taken from electric cables by measuring pH and conductivity*

IEC/TS 60815-1, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 1: Definitions, information and general principles*

IEC 60826, *Design criteria of overhead transmission lines*

IEC 60865-1, *Short-circuit currents – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods*

IEC 60909 (all parts), *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems*

IEC 60949, *Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects*

IEC/TR 61000-5-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 2: Earthing and cabling*

IEC 61034-1, *Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 1: Test apparatus*

IEC 61082-1, *Preparation of documents used in electrotechnology – Part 1: Rules*

IEC 61100, *Classification of insulating liquids according of fire-point and net calorific value*

IEC 61140, *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment*

IEC 61219, *Live working – Earthing or earthing and short-circuiting equipment using lances as a short-circuiting device – Lance earthing*

IEC 61230, *Live working – Portable equipment for earthing or earthing and short-circuiting*

IEC 61243 (all parts), *Live working – Voltage detectors*

IEC/TS 61463, *Bushings – Seismic qualification*

IEC 62271-1:2007, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications* Amendment 1:2011

IEC 62271-200, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*

IEC 62271-201, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 201: AC insulation-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*

IEC 62271-202, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 202: High-voltage/low-voltage prefabricated substation*

IEC 62271-203, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 203: Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV*

IEC 62271-206, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 206: Voltage presence indicating systems for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*

IEC 62271-207, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 207: Seismic qualification for gas-insulated switchgear assemblies for rated voltages above 52 kV*

IEC/TR 62271-300, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 300: Seismic qualification of alternating current circuit-breakers*

IEC/TR 62271-303, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 303: Use and handling of sulphur hexafluoride (SF_6)*

IEC 62305 (all parts), *Protection against lightning*

IEC 62305-4, *Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures*

IEC 82079-1, *Preparation of instructions for use – Structuring, content and presentation – Part 1: General principles and detailed requirements*

IEC Guide 107, *Electromagnetic compatibility – Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications*

ISO/IEC Guide 51, *Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards*

ISO 1996-1, *Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 1: Basic quantities and assessment-procedures*

IEEE 80, *Guide for safety in AC substation grounding*

IEEE 980, *Guide for containment and control of oil spills in substations*

Official Journal of the European Communities, No. C 62/23 dated 28.2.1994: *Interpretative document, Essential requirements No. 2, "safety in case of fire"*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following definitions apply.

3.1 General definitions

3.1.1
electrical equipment
item used for such purposes as generation, conversion, transmission, distribution or utilization of electric energy, such as electric machines, transformers, switchgear and controlgear, measuring instruments, protective devices, wiring systems, current-using equipment

[IEC 60050-826:2004, 826-16-01]

3.1.2
nominal value
value of a quantity used to designate and identify a component, device, equipment or system

[IEC 60050-151:2001, 151-16-09]

3.1.3
nominal voltage of a system
suitable approximate value of voltage used to designate or identify a system

[IEC 60050-601:1985, 601-01-21]

3.1.4
rated value
value of a quantity used for specification purposes, established for a specified set of operating conditions of a component, device, equipment, or system

[IEC 60050-151:2001, 151-16-08]

3.1.5
highest voltage for installation
highest r.m.s value of phase-to-phase voltage for which the installation is designed in respect of its insulation

3.1.6
tested connection zone
zone in the vicinity of equipment terminals which has passed a dielectric type test with the appropriate withstand value(s), the applicable conductors being connected to the terminals in a manner specified by the manufacturer of the equipment

3.1.7
isolating distance
clearance between open contacts meeting the safety requirements specified for disconnectors

[IEC 60050-441:1984, 441-17-35]

3.1.8
isolation
switching off or disconnection of an installation, a part of an installation or an equipment from all non-earthed conductors by creating isolating gaps or distances

3.1.9
live part
conductor or conductive part intended to be energized in normal operation, including a neutral conductor, but by convention not a PEN conductor or PEM conductor or PEL conductor

[IEC 60050-195:1998, 195-02-19]

NOTE 1 This concept does not necessarily imply a risk of electric shock.

NOTE 2 For definitions of PEM and PEL see IEC 60050-195:1998, 195-02-13 and IEC 60050-195:1998, 195-02-14.

3.1.10
feeder
electric line originating at a main substation and supplying one or more secondary substations, or one or more branch lines, or any combination of these two types of installations

[IEC 60050-601:1985, 601-02-08, modified]

3.1.11
ferro-resonance
resonance of the capacitance of an apparatus with the inductance of the saturable magnetic circuit of an adjacent apparatus

[IEC 60050-604:1987, 604-01-14]

3.1.12
transient overvoltage
short duration overvoltage of a few milliseconds, or less, oscillatory or non-oscillatory, usually highly damped

[IEC 60050-604, Amendment 1:1998, 604-03-13]

3.1.13
high voltage
voltage exceeding 1 000 V a.c.

3.1.14
low voltage
voltage not exceeding 1 000 V a.c.

3.1.15
operation
all activities, including both electrical and non-electrical work activities, necessary to permit the power installation to function

NOTE These activities include switching, controlling, monitoring and maintenance.

3.1.16
normal conditions of operation
all operating conditions frequently encountered

NOTE These include rated operating conditions, maximum and minimum operating conditions, partial load, normal transients (start-up, shut-down, load changes) standby situations.

3.1.17
abnormal conditions of operation
operating conditions of low occurrence (typical only a few times during equipment lifetime)

NOTE These include human errors, loss of power supply, overvoltages, earthquake, etc. After such a condition has occurred, equipment inspection may be required.

3.1.18
electrical work
work on, with or near an power installation such as testing and measurement, repairing, replacing, modifying, extending, erection and inspection

3.2 Definitions concerning installations

3.2.1
closed electrical operating area
room or location for operation of electrical installations and equipment to which access is intended to be restricted to skilled or instructed persons or to lay personnel under the supervision of skilled or instructed persons, e.g. by opening of a door or removal of protective barrier only by the use of a key or tool, and which is clearly marked by appropriate warning signs

3.2.2
operating areas subject to fire hazard
rooms, areas or locations, indoors or outdoors, where there is a danger, due to local or operating conditions, that hazardous quantities of easily flammable materials may come so close to the electrical equipment as to cause a fire hazard resulting from the high temperature of the equipment or due to arcing

3.2.3
sump
receptacle which is intended to receive the insulating liquid of a transformer or other equipment in case of leakage

[IEC 60050-605:1983, 605-02-30, modified]

3.2.4
catchment tank
collecting tank for the leakage liquids, rain water, etc. for one or more transformers or other equipment

3.2.5
busbar
conductor with associated connections, joints and insulated supports forming a common electrical connection between a number of circuits or individual pieces of apparatus

3.3 Definitions concerning types of installations

3.3.1
substation
part of a power system, concentrated in a given place, including mainly the terminations of transmission or distribution lines, switchgear and housing and which may also include transformers. It generally includes facilities necessary for system security and control (e.g. the protective devices).

NOTE According to the nature of the system within which the substation is included, a prefix may qualify it.

EXAMPLE Transmission substation (of a transmission system), distribution substation, 400 kV substation, 20 kV substation.

[IEC 60050-605:1983, 605-01-01]

3.3.2
power station
installation whose purpose is to generate electricity and which includes civil engineering works, energy conversion equipment and all the necessary ancillary equipment.

[IEC 60050-602:1983, 602-01-01]

3.3.3
installations of open design
installations where the equipment does not have protection against direct contact

3.3.4
installations of enclosed design
installations where the equipment has protection against direct contact

NOTE For degrees of enclosure protection see IEC 60529.

3.3.5
switchgear 'bay' or 'cubicle'
each branch of a busbar in an installation

3.4 Definitions concerning safety measures against electric shock

3.4.1
protection against direct contact
measures which prevent persons coming into hazardous proximity to live parts or those parts which could carry a hazardous voltage, with parts of their bodies or objects (reaching the danger zone)

3.4.2
protection in case of indirect contact
protection of persons from hazards which could arise, in event of fault, from contact with exposed conductive parts of electrical equipment or extraneous conductive parts

3.4.3
enclosure
part providing protection of equipment against certain external influences and, in any direction, protection against direct contact

3.4.4
protective barrier
part providing protection against direct contact from any usual direction of access

[IEC 60050-195:1998, 195-06-15]

3.4.5
protective obstacle
part preventing unintentional direct contact, but not preventing direct contact by deliberate action

[IEC 60050-195:1998, 195-06-16]

3.5 Definitions concerning clearances

3.5.1
clearance
distance between two conductive parts along a string stretched the shortest way between these conductive parts

[IEC 60050-441:1984, 441-17-31]

3.5.2
minimum clearance
smallest permissible clearance in air between live parts or between live parts and earth

3.5.3
protective barrier clearance
smallest permissible clearance between a protective barrier and live parts or those parts which may become subject to a hazardous voltage

3.5.4
protective obstacle clearance
smallest permissible clearance between a protective obstacle and live parts or those parts which may become subject to a hazardous voltage

3.5.5
danger zone
area limited by the minimum clearance (D_L) around live parts without complete protection against direct contact (see Figure 3)

NOTE Infringing the danger zone is considered the same as touching live parts.

3.5.6
vicinity zone
zone surrounding a danger zone, the outer boundary of which is limited by the distance D_V (see Figure 3)

NOTE 1 The outer boundary of the vicinity zone depends upon the voltage of the live part.

NOTE 2 Work in the vicinity zone is considered to be all work where a worker is either inside the zone or reaches into the zone with parts of the body or tools, equipment and devices being handled but does not reach into the danger zone.

3.5.7
working clearance
minimum safe distance (D_W) to be observed between normally exposed live parts and any person working in a substation or any conductive tool directly handled (see Figure 3)

[IEC 60050-605:1983, 605-02-25, modified]

NOTE 1 Values for electrically skilled or instructed persons are given in Figure 3. This refers only to non-live working. Specific definitions related to live working practices are found in IEC 60050-651.

NOTE 2 In Europe the term “minimum working distance” is used instead of “working clearance”.

3.5.8
boundary clearance
smallest permissible clearance between an external fence and live parts or those parts which may become subject to a hazardous voltage

3.5.9
minimum height

smallest permissible vertical clearance between accessible surfaces and live parts without protection against direct contact or those parts which may become subject to a hazardous voltage (see Figure 3)

3.6 Definitions concerning control and protection

3.6.1
interlocking device
device which makes the operation of a switching device dependent upon the position or operation of one or more other pieces of equipment

[IEC 60050-441:1984, 441-16-49]

3.6.2
local control
control of operation from a point on or adjacent to the controlled switching device.

[IEC 60050-441:1984, 441-16-06]

3.6.3
remote control
control of operation at a point distant from the controlled switching device

[IEC 60050-441:1984, 441-16-07]

3.6.4
automatic reclosing
automatic reclosing of a circuit-breaker associated with a faulted section of a network after an interval of time which permits that section to recover from a transient fault

[IEC 60050-604:1987, 604-02-32]

3.7 Definitions concerning earthing

3.7.1
(local) earth
(local) ground
part of the Earth which is in electric contact with an earth electrode and the electric potential of which is not necessarily equal to zero

NOTE The conductive mass of the earth, whose electric potential at any point is conventionally taken as equal to zero.

[IEC 60050-195:1998, 195-01-03, modified]

3.7.2
reference earth
reference ground (remote earth/ground)
part of the Earth considered as conductive, the electric potential of which is conventionally taken as zero, being outside the zone of influence of the relevant earthing arrangement

NOTE The concept “Earth” means the planet and all its physical matter.

[IEC 60050-195:1998, 195-01-01, modified]

3.7.3
earth electrode
ground electrode
conductive part, which may be embedded in a specific conductive medium, e.g. in concrete or coke, in electric contact with the Earth

[IEC 60050-195:1998, 195-02-01]

3.7.4
earthing conductor
grounding conductor
conductor which provides a conductive path, or part of the conductive path, between a given point in a system or in an installation or in equipment and an earth electrode

[IEC 60050-195:1998, 195-02-03]

NOTE Where the connection between part of the installation and the earth electrode is made via a disconnecting link, disconnecting switch, surge arrester counter, surge arrester control gap etc., then only that part of the connection permanently attached to the earth electrode is an earthing conductor.

3.7.5
protective bonding conductor
protective conductor for ensuring equipotential bonding

3.7.6
earthing system
grounding system
arrangement of connections and devices necessary to earth equipment or a system separately or jointly

[IEC 60050-604:1987, 604-04-02]

3.7.7
earth rod
ground rod
earth electrode consisting of a metal rod driven into the ground

[IEC 60050-604:1987, 604-04-09]

3.7.8
structural earth electrode
metal part, which is in conductive contact with the earth or with water directly or via concrete, whose original purpose is not earthing, but which fulfils all requirements of an earth electrode without impairment of the original purpose

NOTE Examples of structural earth electrodes are pipelines, sheet piling, concrete reinforcement bars in foundations and the steel structure of buildings, etc.

3.7.9
electric resistivity of soil
ρ_E
resistivity of a typical sample of soil

3.7.10
resistance to earth
R_E
real part of the impedance to earth

3.7.11
impedance to earth
Z_E
impedance at a given frequency between a specified point in a system or in an installation or in equipment and reference earth

NOTE The impedance to earth is determined by the directly connected earth electrodes and also by connected overhead earth wires and wires buried in earth of overhead lines, by connected cables with earth electrode effect and by other earthing systems which are conductively connected to the relevant earthing system by conductive cable sheaths, shields, PEN conductors or in another way.

3.7.12
earth potential rise
EPR
U_E
voltage between an earthing system and reference earth

3.7.13
potential
voltage between an observation point and reference earth

3.7.14
(effective) touch voltage
U_T
voltage between conductive parts when touched simultaneously

NOTE The value of the effective touch voltage may be appreciably influenced by the impedance of the person in electric contact with these conductive parts.

[IEC 60050-195:1998, 195-05-11, modified]

3.7.15
prospective touch voltage
U_{vT}
voltage between simultaneously accessible conductive parts when those conductive parts are not being touched

[IEC 60050-195:1998, 195-05-09, modified]

3.7.16
step voltage
U_S
voltage between two points on the Earth's surface that are 1 m distant from each other, which is considered to be the stride length of a person

[IEC 60050-195:1998, 195-05-12]

3.7.17
transferred potential
potential rise of an earthing system caused by a current to earth transferred by means of a connected conductor (for example a metallic cable sheath, PEN conductor, pipeline, rail) into areas with low or no potential rise relative to reference earth, resulting in a potential difference occurring between the conductor and its surroundings

NOTE The definition also applies where a conductor, which is connected to reference earth, leads into the area of the potential rise.

3.7.18
stress voltage
voltage appearing during earth fault conditions between an earthed part or enclosure of equipment or device and any other of its parts and which could affect its normal operation or safety

3.7.19
global earthing system
equivalent earthing system created by the interconnection of local earthing systems that ensures, by the proximity of the earthing systems, that there are no dangerous touch voltages

NOTE 1 Such systems permit the division of the earth fault current in a way that results in a reduction of the earth potential rise at the local earthing system. Such a system could be said to form a quasi equipotential surface.

NOTE 2 The existence of a global earthing system may be determined by sample measurements or calculation for typical systems. Typical examples of global earthing systems are in city centres; urban or industrial areas with distributed low- and high-voltage earthing.

3.7.20
multi-earthed (multi-grounded) HV neutral conductor
neutral conductor of a distribution line connected to the earthing system of the source transformer and regularly earthed

3.7.21
exposed-conductive-part
conductive part of equipment which can be touched and which is not normally live, but which can become live when basic insulation fails

[IEC 60050-826:2004, 826-12-10]

3.7.22
extraneous-conductive-part
conductive part not forming part of the electrical installation and liable to introduce an electric potential, generally the electric potential of a local earth

[IEC 60050-826:2004, 826-12-11, modified]

3.7.23
PEN conductor
conductor combining the functions of both protective earthing conductor and neutral conductor

[IEC 60050-826:2004, 826-13-25]

3.7.24
earth/ground fault
fault caused by a conductor being connected to earth or by the insulation resistance to earth becoming less than a specified value

[IEC 60050-151:1978[2], 151-03-40]

NOTE Earth faults of two or several phase conductors of the same system at different locations are designated as double or multiple earth faults.

3.7.25
earth fault current
I_F
current which flows from the main circuit to earth or earthed parts at the fault location (earth fault location)

NOTE 1 For single earth faults, this is

- in systems with isolated neutral, the capacitive earth fault current,
- in systems with high resistive earthing, the RC composed earth fault current,
- in systems with resonant earthing, the earth fault residual current,
- in systems with solid or low impedance neutral earthing, the line-to-earth short-circuit current.

NOTE 2 Further earth fault current may result from double earth fault and line to line to earth

3.7.26
circulating transformer neutral current
portion of fault current which flows back to the transformer neutral point via the metallic parts and/or the earthing system without ever discharging into soil

---

2 IEC 60050-151:1978 has been replaced in 2001, but for this definition (151-03-40) the 1978 publication is applicable.

4 Fundamental requirements

4.1 General

4.1.1 General requirements

Installations and equipment shall be capable of withstanding electrical, mechanical, climatic and environmental influences anticipated on site.

The design shall take into account:

– the purpose of the installation,

– the users requirements such as power quality, reliability, availability, and ability of the electrical network to withstand the effects of transient conditions such as starting of large motors, short power outages and re-energization of the installation.

– the safety of the operators and the public,

– the environmental influence,

– the possibility for extension (if required) and maintenance.

The user shall define preferences for specific maintenance features and identify the safety requirements to be met for levels of segregation of the switchgear and controlgear to ensure minimal plant shutdown. Where necessary, the levels of segregation of switchgear shall be such as to minimize the spread of a fault, including a fire, occurring in any defined module into adjacent modules.

There are operating conditions of low occurrence or low cumulative duration which can occur and for which specific design criteria may be agreed between the user and the manufacturer. In such cases, measures required to prevent unsafe conditions and to avoid damage to electrical or plant equipment shall be taken.

The generators shall be capable of meeting the requirements for connection to the power system grid or local grid, e.g. for voltage regulation, frequency response, etc.

4.1.2 Agreements between supplier (manufacturer) and user

The working procedures of the user shall be taken into account in the design of the installation.

For design and erection of power installations, additional agreements between manufacturer/ contractor/planner and user/orderer/owner shall be followed, which also may have effects to necessary operational requirements. References can be found in the following subclauses:

Subclause	Item
4.1.1	General requirements (specific design criteria)
4.2.2	Voltage classification
4.3.9	Special conditions and requirements for seismic environment
4.4.2.1	Climatic and environmental conditions (for auxiliary equipment: indoor)
4.4.2.2	Climatic and environmental conditions (for auxiliary equipment: outdoor)
4.4.3.1	Conditions different from the normal environmental conditions
4.4.3.5	Special conditions and requirements for vibrations
6.1.2	Compliance with operational and safety procedures
6.2.1	Method of indication (contact position of interrupting or isolating equipment)
6.2.1	Interlocks and/or locking facilities
6.2.1	Switching devices (reduced rating)
6.2.1	Rating of switchgear (specific requirements)
6.2.8	Level of pollution

Subclause	Item
6.2.8	Outdoor insulators in polluted or heavy wetting conditions
6.2.9.1	Insulated cables (temperature rise)
7.1	Higher values for distances, clearances and dimensions
7.1	Installations (operating procedures)
7.1.2	Documentation (extent of the documentation)
7.1.3	Transport routes (load capacity, height and width)
7.1.5	Lighting (presence and extent of the lighting)
7.5.4	Maintenance and operating areas (distances of the escape route)
8.4	Means to protect persons working on electrical installations (working procedures)
8.4.3	Devices for determining the de-energized state (extent of provisions)
8.4.4	Devices for earthing and short-circuiting (Extent of provision or supply)
8.4.5.1	Equipment acting as protective barriers against adjacent live parts (extent of Insertable insulated partitions)
8.4.5.2	Equipment acting as protective barriers against adjacent live parts (extent of insertable partition walls)
8.5	Protection from danger resulting from arc fault (degree of importance of measures)
8.6	Protections against direct lightning strokes (method of analysis)
8.7.1	Requirements for fire extinguishing equipment
8.7.2.1	Reduction of distances G_1/G_2
9.1	Monitoring and control systems (agreement of fault level and protection grading studies)
9.3	Compressed air system (sectionalization for maintenance)
9.4	SF_6 gas handling plants (design and capacity of the plant)
10.2.1	Fundamental requirements for design of the earthing system
11	Inspection and testing (extent of the inspection and testing / specification / documentation)
11.3	Tests during installation and commissioning (requirements / test equipment / schedule of tests)
11.4	Trial running (performance)

4.2 Electrical requirements

4.2.1 Methods of neutral earthing

The method of neutral earthing strongly influences the fault current level and the fault current duration. Furthermore the neutral earthing method is important with regard to the following:

– selection of insulation level;
– characteristics of overvoltage - limiting devices - such as spark gaps or surge arresters;
– selection of protective relays;
– design of earthing system.

The following are examples of neutral earthing methods:

– isolated neutral;
– resonant earthing;
– high resistive earthing;
– solid (low impedance) earthing.

The choice of the type of neutral earthing is normally based on the following criteria:

– local regulations (if any);

– continuity of supply required for the network;
– limitation of damage to equipment caused by earth faults;
– selective elimination of faulty sections of the network;
– detection of fault location;
– touch and step voltages;
– inductive interference;
– operation and maintenance aspects.

One galvanically connected system has only one method of neutral earthing. Different galvanically independent systems may have different methods of neutral earthing. If different neutral earthing configurations can occur during normal or abnormal operating conditions, equipment and protective system shall be designed to operate under these conditions.

4.2.2 Voltage classification

The users shall define the nominal voltage and the maximum operating voltage of their system. Based on the maximum operating voltage, the highest voltage for installation (U_m) shall be selected either from Table 1, Table 2 or Annex A.

4.2.3 Current in normal operation

Every part of an installation shall be designed and constructed to withstand currents under defined operating conditions.

4.2.4 Short-circuit current

Installations shall be designed, constructed and erected to safely withstand the mechanical and thermal effects resulting from short-circuit currents.

NOTE 1 Where an installation has on-site generation, motors or parallel operation with a network (co-generation), fault levels can increase.

For the purpose of this standard all types of short-circuit shall be considered, e.g.:

– three-phase;
– phase-to-phase;
– phase-to-earth;
– double phase-to-earth.

Installations shall be protected with automatic devices to disconnect three-phase and phase-to-phase short-circuits.

Installations shall be protected either with automatic devices to disconnect earth faults or to indicate the earth fault condition. The selection of the device is dependent upon the method of neutral earthing.

The standard value of rated duration of the short-circuit is 1,0 s.

NOTE ~~1~~2 If a value other than 1 s is appropriate, recommended values would be 0,5 s, 2,0 s and 3,0 s.

NOTE ~~2~~3 The rated duration should be determined taking into consideration the fault switching time.

Methods for the calculation of short-circuit currents in three-phase a.c. systems are given in the IEC 60909 series.

Methods for the calculation of the effects of short-circuit current are given in IEC 60865-1 and, for power cables, in IEC 60949.

4.2.5 Rated frequency

Installations shall be designed for the rated frequency of the system in which they shall operate.

4.2.6 Corona

The design of installations shall be such that radio interference due to electromagnetic fields, e.g. caused by corona effects, will not exceed a specified level.

NOTE 1 Recommendations for minimizing the radio interference of high-voltage installations are reported in CISPR 18-1, CISPR 18-2 and CISPR 18-3 [1],[2],[3][3].

NOTE 2 Maximum permissible levels of radio interference may be given by national or local authorities.

NOTE 3 Guidance on acceptable levels of radio interference voltage for switchgear and controlgear can be found in IEC 62271-1:2007.

When the acceptable value is exceeded, the corona level may be controlled, for example, by the installation of corona rings or the recessing of fasteners on bus fittings for high-voltage suspension insulator assemblies, bus support assemblies, bus connections and equipment terminals.

4.2.7 Electric and magnetic fields

The design of an installation shall be such as to limit the electric and magnetic fields generated by energized equipment to an acceptable level for exposed people.

NOTE National and/or international regulations may specify acceptable levels. Further information is available from International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) or IEEE.

4.2.8 Overvoltages

Equipment shall be protected against overvoltages resulting from switching operations or lightning that could exceed the withstand values according to IEC 60071-1 and 60071-2.

4.2.9 Harmonics

Consideration should be given to the effect of harmonic currents and harmonic voltages on the installation, e.g. in industrial installations. Harmonic analyses may be required to determine what corrective measures are needed to meet local regulations and/or to ensure correct operation of the whole electrical system.

4.3 Mechanical requirements

4.3.1 Equipment and supporting structures

Equipment and supporting structures, including their foundations, shall withstand the anticipated mechanical stresses.

Two load cases shall be considered, normal and exceptional. In each of these load cases, several combinations shall be investigated, the most unfavourable of which shall be used to determine the mechanical strength of the structures.

In the normal load case, the following loads shall be considered:

– dead load;
– tension load;

---

3 Figures in square brackets refer to the bibliography.

– erection load;

– ice load;

– wind load.

~~NOTE 1 There may be a need to consider~~ Consideration shall be given to temporary stresses and loads that may be applied during construction or maintenance procedures. Specific equipment can be affected by cyclic loads (refer to specific equipment standards).

In the exceptional load case, dead load and tension load acting simultaneously with the largest of the following occasional loads shall be considered:

– switching forces;

– short-circuit forces;

– loss of conductor tension

– seismic loads.

~~NOTE 2 The probability of earthquake loads should be considered in developing the exceptional load case. See also 4.4.3.5.~~

4.3.2 Tension load

The tension load shall be calculated from the maximum conductor tension under the most unfavourable local conditions.

Possible combinations include, for example:

- –20 °C without ice and without wind;
- –5 °C with ice and without wind;
- +5 °C with wind.

4.3.3 Erection load

The erection load is a load of at least 1,0 kN applied at the most critical position of a supporting structure, tensioning portal, etc.

4.3.4 Ice load

In regions where icing can occur, the resulting load on flexible conductors and on rigid busbars and conductors shall be taken into account.

If local experience or statistics are not available, ice coatings of 1 mm, 10 mm or 20 mm based on criteria given in IEC 62271-1:2007 may be assumed. The density of the ice is assumed to be 900 kg/m^3 in accordance with IEC 60826.

4.3.5 Wind load

Wind loads, which can be very different depending on the local topographic influences and the height of the structures above the surrounding ground, shall be taken into account. The most unfavourable wind direction shall be considered.

IEC 62271-1:2007 contains requirements for wind loading on switchgear and controlgear.

4.3.6 Switching forces

Switching forces shall be considered when designing supports. The forces shall be determined by the designer of the equipment.

4.3.7 Short-circuit forces

The mechanical effects of a short-circuit can be estimated by the methods detailed in IEC 60865-1.

NOTE The CIGRÉ technical brochure "Mechanical effects of short-circuit currents in open air substations" gives additional advice.

4.3.8 Loss of conductor tension

A structure with tension insulator strings shall be designed to withstand the loss of conductor tension resulting from breakage of the insulator or conductor which gives the most unfavourable load case.

NOTE 1 General practice is to base the calculation on 0 °C, no ice and no wind load.

NOTE 2 For bundle conductors, only one subconductor is assumed to fail.

4.3.9 ~~Vibration~~ Seismic loads

~~Vibration caused by wind, electromagnetic stresses and traffic (e. g. temporary road and railway traffic) shall be considered. The withstand capability of equipment against vibrations shall be given by the manufacturer.~~

Special conditions and requirements shall be agreed between user and supplier. (See also 4.4.3.5 Vibration).

Installations situated in a seismic environment shall be designed to take this into account.

Where load specifications apply to the installation of civil work or equipment to meet seismic conditions, then these specifications shall be observed.

Seismic loads shall be dealt with in accordance with appropriate standards for power installations: e.g. IEC 62271-207 for GIS, IEC/TR 62271-300 for circuit-breakers and IEC/TS 61463 for bushings.

The following measures shall be taken into account:

a) Any individual equipment shall be designed to withstand the dynamic forces resulting from the vertical and horizontal motions of the soil. These effects may be modified by the response of the foundation and/or the supporting frame and/or the floor in which this equipment is installed. The response spectrum of the earthquake shall be considered for the design of the equipment.
b) The layout shall be chosen in order to limit the loads due to interconnections between adjoining devices needing to accommodate large relatively axial, lateral, torsional or other movements to acceptable values. Attention should be paid to other stresses which may develop during an earthquake.

4.3.10 Dimensioning of supporting structures

The dimensioning of supporting structures shall be in accordance with applicable codes and standards. Security factors are given in national rules.

4.4 Climatic and environmental conditions

4.4.1 General

Installations, including all devices and auxiliary equipment which form an integral part of them, shall be designed for operation under the climatic and environmental conditions listed below.

The presence of condensation, precipitation, particles, dust, corrosive elements and hazardous atmospheres shall be specified in such a manner that appropriate electrical equipment can be selected. Zone classification for hazardous areas shall be performed in accordance with IEC 60079-10-1 and IEC 60079-10-2. Equipment can be selected according to IEC 60721 series.

4.4.2 Normal conditions

4.4.2.1 Indoor

a) The ambient air temperature does not exceed 40 °C and its average value, measured over a period of 24 h, does not exceed 35 °C.

   The minimum ambient air temperatures are:

   - –5 °C for class “–5 indoor”,
   - –15 °C for class “–15 indoor” and
   - –25 °C for class “–25 indoor”.

   On auxiliary equipment, such as relays and control switches, intended to be used in ambient air temperature below –5 °C, an agreement between supplier and user is necessary.

b) The influence of solar radiation may be neglected.

c) The altitude does not exceed 1 000 m above sea level.

d) The ambient air is not significantly polluted by dust, smoke, corrosive and/or flammable gases, vapours or salt.

e) The average value of the relative humidity, measured over a period of 24 h, does not exceed 95 %.

   For these conditions condensation may occasionally occur.

   NOTE 1 Condensation can be expected where sudden temperature changes occur in periods of high humidity.

   NOTE 2 To avoid breakdown of insulation and/or corrosion of metallic parts due to high humidity and condensation, equipment designed for such conditions and tested accordingly should be used.

   NOTE 3 Condensation may be prevented by special design of the building or housing, by suitable ventilation and heating of the station or by the use of dehumidifying equipment.

f) Vibration due to causes external to the equipment or to earth tremors is negligible.

g) Electromagnetic disturbances should be considered as described in IEC Guide 107.

4.4.2.2 Outdoor

a) The ambient air temperature does not exceed 40 °C and its average value, measured over a period of 24 h, does not exceed 35 °C.

   The minimum ambient air temperatures are:

   - –10 °C for class “–10 outdoor”,
   - –25 °C for class“–25 outdoor”,
   - –30 °C for class “–30 outdoor” and
   - –40 °C for class “–40 outdoor”.

   Rapid temperature changes should be taken into account.

   Auxiliary equipment, such as relays and control switches, intended to be used in ambient air temperatures below –5 °C, shall be the subject of an agreement between supplier and user.

b) Solar radiation up to a level of 1 000 W/m^2 (on a clear day at noon) should be considered.

NOTE 1 Under certain conditions of solar radiation, appropriate measures, for example roofing, forced ventilation, etc., may be necessary, or derating may be used in order not to exceed the specified temperature rises.

NOTE 2 Details of global solar radiation are given in IEC 60721-2-4.

NOTE 3 UV radiation can damage some synthetic materials. For more information, consult the IEC 60068 series.

c) The altitude does not exceed 1 000 m above sea level.

d) The ambient air is not significantly polluted by dust, smoke, corrosive gases, vapours or salt. Pollution does not exceed pollution class c – Medium, according to IEC/TS 60815-1.

e) The ice coating does not exceed 1 mm for class 1, 10 mm for class 10 and 20 mm for class 20. Additional information is given in 4.3.4.

f) The wind speed does not exceed 34 m/s (corresponding to 700 Pa on cylindrical surfaces).

NOTE 4 Characteristics of wind are described in IEC 60721-2-2.

g) Account should be taken of the presence of condensation or precipitation. Precipitation in the form of dew, condensation, fog, rain, snow, ice or hoar frost shall be taken into account.

NOTE 5 Precipitation characteristics for insulation are described in IEC 60060-1 and IEC 60071-1. For other properties, precipitation characteristics are described in IEC 60721-2-2.

h) Vibration due to causes external to the equipment or to earth tremors is negligible.

i) Electromagnetic disturbances should be considered as described in IEC Guide 107.

4.4.3 Special conditions

4.4.3.1 General

When high-voltage equipment is used under conditions different from the normal environmental conditions given in 4.4.2, the user's requirements should refer, for example, to the standardized steps given in the following subclauses.

4.4.3.2 Altitude

For installations situated at an altitude higher than 1 000 m above sea level, the insulation level of external insulation under the standardized reference atmospheric conditions shall be determined by multiplying the insulation withstand voltages required at the service location by a factor K_a in accordance with IEC 62271-1:2007.

NOTE 1 For internal pressurized insulation, the dielectric characteristics are identical at any altitude and no special precautions need be taken.

NOTE 2 For low-voltage auxiliary and control equipment, no special precautions need be taken if the altitude is lower than 2 000 m above sea level. For higher altitudes, see IEC 60664-1.

NOTE 3 The pressure variation due to altitude is given in IEC 60721-2-3. Regarding this phenomenon, particular attention should be devoted to the following points:

– thermal exchanges by convection, conduction or radiation;

– efficiency of heating or air-conditioning;

– operating level of pressure devices;

– efficiency of diesel generating set or compressed air station;

– increase of corona effect.

NOTE 4 The correction factor K_a of IEC 62271-1:2007 reflects the fact that modification is not required for altitudes below 1 000 m.

4.4.3.3 Pollution

For equipment in polluted ambient air, a pollution class d (heavy), or class e (very heavy), as defined in IEC/TS 60815-1, should be specified.

4.4.3.4 Temperature and humidity

For equipment in a place where the ambient temperature can be significantly outside the normal service condition range stated in 4.4.2, the preferred ranges of minimum and maximum temperature to be specified should be as follows:

–50 °C and +40 °C for very cold climates;

–5 °C and +50 °C for very hot climates.

In certain regions with frequent occurrence of warm, humid winds, sudden changes of temperature may occur, resulting in condensation, even indoors.

In tropical indoor conditions, the average value of relative humidity measured during a period of 24 h can be 98 %.

In some underground installations, equipment might be located under water. Such equipment shall be designed accordingly and proper operating procedures defined.

4.4.3.5 Vibration

~~Vibration due to external causes should be dealt with in accordance with IEC 60721-2-6.~~

~~Installations situated in a seismic environment shall be designed to take this into account. This shall be achieved by applying the following measures.~~

~~a) Any individual equipment shall be designed to withstand the dynamic forces resulting from the vertical and horizontal motions of the soil. These effects may be modified by the response of the foundation and/or the supporting frame and/or the floor in which this equipment is installed. The spectrum of the impulse earthquake shall be considered for the design of the equipment.~~

~~b) The layout shall be chosen in order to limit the following loads to acceptable values:~~

~~– loads due to interconnections between adjoining devices needing to accommodate large relatively axial, lateral, torsional or other movements, bearing in mind that other stresses may develop during an earthquake;~~

~~– the service stresses of equipment, which may be transmitted through a common monolithic foundation or floor (for example opening/reclosing of circuit breakers).~~

~~Where load specifications apply to the installation of civil work or equipment to meet seismic conditions, then these specifications shall be observed.~~

Special conditions and requirements shall be agreed between user and supplier. (See also 4.3.9 Seismic loads).

Vibration caused by wind, electromagnetic stresses, traffic (e. g. temporary road and railway traffic) and industrial processes shall be considered. The withstand capability of equipment against vibrations shall be given by the manufacturer.

The service stresses of equipment, which may be transmitted through a common monolithic foundation or floor (for example opening/reclosing of circuit-breakers) shall be taken into account.

4.5 Special requirements

4.5.1 Effects of small animals and micro-organisms

If biological activity (through birds, other small animals or micro-organisms) is a hazard, measures against such damage shall be taken. These may include appropriate choice of materials, measure to prevent access and adequate heating and ventilating (for more details see IEC 60721-2-7).

4.5.2 Noise level

If noise level limits are given (usually by administrative authorities), they shall be achieved by appropriate measures such as

– using sound insulation techniques against sound transmitted through air or solids;

– using low noise equipment.

Criteria for noise evaluation for different places and different periods of day are given in ISO 1996-1.

4.5.3 Transport

The transport to site, e.g. large transformers and storage constraints may have consequences on the design of the high-voltage electrical installation.

5 Insulation

5.1 General

As conventional (air insulated) installations are normally not impulse tested, the installation requires minimum clearances between live parts and earth and between live parts of phases in order to avoid flashover below the impulse withstand level selected for the installation.

Insulation coordination shall be in accordance with IEC 60071-1.

5.2 Selection of insulation level

The insulation level shall be chosen according to the established highest voltage for installation U_{m} and/or impulse withstand voltage.

5.2.1 Consideration of methods of neutral earthing

The choice should be made primarily to ensure reliability in service, taking into account the method of neutral earthing in the system and the characteristics and the locations of overvoltage limiting devices to be installed.

In installations in which a high level of safety is required, or in which the configuration of the system, the adopted method of neutral earthing or the protection by surge arresters make it inappropriate to lower the level of insulation, one of the higher alternative values of Table 1, Table 2 and Annex A shall be chosen.

In installations in which the configuration of the system, the adopted method of neutral earthing or the protection by surge arresters makes it appropriate to lower the level of insulation, the lower alternative values of Table 1, Table 2 and Annex A are sufficient.

5.2.2 Consideration of rated withstand voltages

In the voltage range I (1 kV $< U_{\mathrm{m}} \leq$ 245 kV), the choice shall be based on the rated lightning impulse withstand voltages and the rated short-duration power-frequency withstand voltages of Table 1; in the voltage range II ($U_{\mathrm{m}} >$ 245 kV) the choice shall be based on the rated switching impulse withstand voltages and the rated lightning impulse withstand voltages given in Table 2. Values of rated insulation levels not standardized by IEC but based on current practice in some countries are listed in Annex A (Tables A.1, A.2 and A.3).

5.3 Verification of withstand values

If the minimum clearances in air given in Table 1, Table 2 and Annex A are maintained, it is not necessary to apply dielectric tests.

If the minimum clearances in air are not maintained, the ability to withstand the test voltages of the chosen insulation level shall be established by applying the appropriate dielectric tests in accordance with IEC 60060-1 for the withstand voltage values given in Table 1, Table 2 and Annex A.

If the minimum clearances in air are not maintained in parts or areas of an installation, dielectric tests restricted to these parts or areas will be sufficient.

NOTE In accordance with IEC 60071-2:1996, Annex A, minimum clearances may be lower if this has been proven by tests or by operating experience of lower overvoltages.

5.4 Minimum clearances of live parts

5.4.1 General

The minimum clearances in air given in Table 1, Table 2 and Annex A apply for altitudes up to 1 000 m above sea level. For higher altitudes, see 4.4.3.2.

NOTE Some values of minimum clearances are designated as "N". This is a symbol for those minimum clearances on which safety distances as given in 7 are based.

If parts of an installation can be separated from each other by a disconnector, ~~they~~ these parts shall be tested at the rated impulse withstand voltage for the isolating distance (see Tables 1a and 1b as well as Tables 2a and 2b of IEC 62271-1:2007, Amendment 1:2011). If between such parts of an installation the minimum clearances of Table 1 for range I, respectively the minimum phase-to-phase clearances of Table 2 for range II are increased by 25 % or more, it is not necessary to apply dielectric tests.

5.4.2 Minimum clearances in voltage range I

In the voltage range I (see Table 1) the minimum clearances in air are based on unfavourable electrode configurations with small radii of curvature (i.e. rod-plate). As the rated lightning impulse withstand voltage (LIWV) in these voltage ranges is the same as for the phase-phase insulation and phase-earth insulation, the clearances apply for both insulation distances.

5.4.3 Minimum clearances in voltage range II

In voltage range II (see Table 2) the clearances in air are determined by the rated switching impulse withstand voltage (SIWV). They substantially depend on the electrode configurations. In cases of difficulty in classifying the electrode configuration, it is recommended to make a choice based on the phase-to-earth clearances of the most unfavourable configuration such as, for example, the arm of an isolator against the tower construction (rod-structure).

Table 1 – Minimum clearances in air – Voltage range I
(1 kV < U_m ≤ 245 kV)

Voltage range	Highest voltage for installation	Rated short-duration power-frequency withstand voltage	Rated lightning impulse withstand voltage [a]	Minimum phase-to-earth and phase-to-phase clearance N	
	U_m r.m.s.	U_d r.m.s.	U_p 1,2/50 μs (peak value)	Indoor installations	Outdoor installations
	kV	kV	kV	mm	mm
I	3,6	10	20	60	120
			40	60	120
	7,2	20	40	60	120
			60	90	120
	12	28	60	90	150
			75	120	150
			95	160	160
	17,5	38	75	120	160
			95	160	160
	24	50	95	160	
			125	220	
			145	270	
	36	70	145	270	
			170	320	
	52	95	250	480	
	72,5	140	325	630	
	123	185 [b]	450 [b]	900	
		230	550	1 100	
	145	185 [b]	450 [b]	900	
		230	550	1 100	
		275	650	1 300	
	170	230 [b]	550 [b]	1 100	
		275	650	1 300	
		325	750	1 500	
	245	275 [b]	650 [b]	1 300	
		325 [b]	750 [b]	1 500	
		360	850	1 700	
		395	950	1 900	
		460	1 050	2 100	

[a] The rated lightning impulse is applicable to phase-to-phase and phase-to-earth.

[b] If values are considered insufficient to prove that the required phase-to-phase withstand voltages are met, additional phase-to-phase withstand tests are needed.

Table 2 – Minimum clearances in air – Voltage range II
(U_m > 245 kV)

Voltage range	Highest voltage for installation ~~c~~	Rated lightning impulse withstand voltage [a]	Rated switching impulse withstand voltage	Minimum phase-to-earth clearance		Rated switching impulse withstand voltage	Minimum phase-to-phase clearance	
	U_m r.m.s.	U_p 1,2/50 µs (peak value)	U_s Phase-to-earth 250/2 500 µs (peak value)	Conductor – structure	Rod – structure N	U_s Phase-to-phase 250/2 500 µs (peak value)	Conductor – conductor parallel	Rod – conductor
	kV	kV	kV	mm		kV	mm	
II	300	850/950	750	1 600 1 700 [b]	1 900	1 125	2 300	2 600
		950/1 050	850	1 800 1 900 [b]	2 400	1 275	2 600	3 100
	362	950/1 050	850	1 800 1 900 [b]	2 400	1 275	2 600	3 100
		1 050/1 175	950	2 200	2 900	1 425	3 100	3 600
	420	1 050/1 175	850	1 900 2 200 [b]	2 400	1 360	2 900	3 400
		1 175/1 300	950	2 200 2 400 [b]	2 900	1 425	3 100	3 600
		1 300/1 425	1 050	2 600	3 400	1 575	3 600	4 200
	550	1 175/1 300	950	2 200 2 400 [b]	2 900	1 615	3 700	4 300
		1 300/1 425	1 050	2 600	3 400	1 680	3 900	4 600
		1 425/1 550	1 175	3 100	4 100	1 763	4 200	5 000
	800	1 675/1 800	1 300	3 600	4 800	2 210	6 100	7 400
		1 800/1 950	1 425	4 200	5 600	2 423	7 200	9 000
		1 950/2 100	1 550	4 900	6 400	2 480	7 600	9 400
	1 100	1 950/2 100	1 425 [c]	4 200	5 600	-	-	-
		2 100/2 250	1 550	4 900	6 400	2 635	8 400 [d]	10 000 [d]
		2 250/2 400	1 675	5 600 [d]	7 400 [d]	2 764	9 100 [d]	10 900 [d]
		2 400/2 550	1 800	6 300 [d]	8 300 [d]	2 880	9 800 [d]	11 600 [d]
	1 200	2 100/2 250	1 675	5 600 [d]	7 400 [d]	2 848	9 600 [d]	11 400 [d]
		2 250/2 400	1 800	6 300 [d]	8 300 [d]	2 970	10 300 [d]	12 300 [d]
		2 550/2 700	1 950	7 200 [d]	9 500 [d]	3 120	11 200 [d]	13 300 [d]

[a] The rated lightning impulse is applicable phase-to-phase and phase-to-earth.

[b] Minimum clearance required for upper value of rated lightning impulse withstand voltage.

[c] This value is only applicable to the phase-to-earth insulation of single phase equipment not exposed to air.

[d] Tentative values still under consideration.

~~NOTE The introduction of U_m above 800 kV is under consideration. In IEC 60038, 1 050 kV, 1 100 kV and 1 200 kV are listed.~~

5.5 Minimum clearances between parts under special conditions

The minimum clearances between parts of an installation which may be subject to phase opposition shall be 20 % higher than the values given in Table 1, Table 2 and Annex A.

Minimum clearances between parts of an installation, which are assigned to different insulation levels, shall be at least 125 % of the clearances of the higher insulation level.

If conductors swing under the influence of short-circuit forces, 50 % of the minimum clearances of Table 1, Table 2 and Annex A shall be maintained as a minimum.

If conductors swing under the influence of wind, 75 % of the minimum clearances of Table 1, Table 2 and Annex A shall be maintained as a minimum.

In case of rupture of one sub-chain in a multiple insulator chain, 75 % of the minimum clearances of Table 1, Table 2 and Annex A shall be maintained as a minimum.

If neither the neutral point nor a phase conductor is effectively earthed in an installation that is fed via auto transformers, the insulation of the lower voltage side shall be rated according to the highest voltage for equipment on the higher voltage side. Attention should be paid to neutral point insulation according to the method of neutral earthing.

5.6 Tested connection zones

Information on mounting and service conditions of type tested equipment supplied by the manufacturer shall be observed on site.

NOTE In tested connection zones, the minimum clearances according to Table 1, Table 2 and Annex A need not be maintained because the ability to withstand the test voltage is established by a dielectric type test.

6 Equipment

6.1 General requirements

6.1.1 Selection

Equipment shall be selected and installed to satisfy the following requirements:

a) safe construction when properly assembled, installed and connected to supply;

b) safe and proper performance taking into account the external influences that can be expected at the intended location;

c) safe and proper performance during normal operation and in the event of reasonably expected conditions of overload, abnormal operation and fault, without resulting in damage that would render the equipment unsafe;

d) protection of personnel during use and maintenance of the equipment.

6.1.2 Compliance

Equipment shall comply with the relevant IEC standards with particular attention to IEC Guide 107 and ISO/IEC Guide 51.

If compliance with operational and safety procedures specific to a certain installation is required, additional requirements shall be specified by the user.

6.1.3 Personnel safety

Particular attention shall be given to the safety of personnel during the installation, operation and maintenance of equipment.

This may include

a) manuals and instructions for transport, storage, installation, operation and maintenance,
b) special tools required for operation, maintenance and testing,
c) safe working procedures developed for specific locations,
d) safe earthing measures.

6.2 Specific requirements

6.2.1 Switching devices

A facility shall be provided to indicate the contact position of the interrupting or isolating equipment (including earthing switches). The method of indication in accordance with the equipment standard shall be specified by the user.

The position indicator shall provide an unambiguous indication of the actual position of the equipment primary contacts.

The device indicating the open/close position shall be easily visible to the operator.

Disconnectors and earthing switches shall be installed in such a way that they cannot be inadvertently operated by tension or pressure exerted manually on operating linkages.

Where specified by the user, interlocking devices and/or locking facilities shall be ~~provided~~ installed to ~~prevent~~ provide a safeguard against inappropriate ~~mal~~operation.

If an interlocking system is provided which prevents the earthing switch from carrying the full short-circuit current, it is permissible, by agreement with the user, to specify a reduced rating for the switch which reflects its possible short-circuit-current stress.

Equipment shall be installed in such a way that ionized gas released during switching does not result in damage to the equipment or in danger to operating personnel.

NOTE The word “damage” is considered to signify any failure of the equipment which impairs its function.

Ratings of switchgear shall be based on the appropriate IEC high-voltage standards. The switching of certain circuits may however require the use of more severe constraints than defined in those standards. Examples of such circuits are filter banks and loads having very high X/R ratios such as large transformers and generators. The specific requirements of switchgear for such circuits shall be agreed upon between the user and supplier.

6.2.2 Power transformers and reactors

Unless otherwise stated, this subclause applies to both transformers and reactors even when only transformers are referred to in the text.

The main selection criteria for transformers are given in Clause 4 and Clause 8.

The transformers are classified taking into account the dielectric in contact with the winding and the type of internal or external cooling, as described in Clause 3 of IEC 60076-2:1993.

When designing the transformer installation, the possibility of fire propagation (see 8.7) shall be considered. Similarly, means shall be implemented to limit, if necessary, the acoustic noise level (see 4.5.2).

For transformers installed indoors, suitable ventilation shall be provided (see 7.5.7).

Water (ground water, surface water and waste water) shall not be polluted by transformer installations. This shall be achieved by the choice of the design of transformer type and/or site provisions. For measures see 8.8.

If it is necessary to take samples (oil sampling) or to read monitoring devices (such as fluid level, temperature, or pressure), which are important for the operation of the transformer whilst the transformer is energized, it shall be possible to perform this safely and without damage to the equipment.

Air-core reactors shall be installed in such a way that the magnetic field of the short-circuit current will not be capable of drawing objects into the coil. Adjacent equipment shall be designed to withstand the resulting electromagnetic forces. Adjacent metal parts such as foundation reinforcements, fences and earthing grids shall not be subject to excessive temperature rise under normal load conditions.

The risk of damage to transformers from overstresses resulting from ferroresonance, harmonics and other causes should be minimized by appropriate system studies and measures.

Transformer pressure relief devices, if used, shall be arranged to direct the oil discharge downwards and away from the operational controls where personnel are likely to be standing.

6.2.3 Prefabricated type-tested switchgear

The requirements for gas insulated metal-enclosed switchgear (GIS), metal-enclosed switchgear, insulation-enclosed switchgear and other prefabricated type-tested switchgear assemblies are given in 7.4. For safety of personnel and gas handling, refer to 8.8.3 and 9.4.

6.2.4 Instrument transformers

The secondary circuits of instrument transformers shall be bonded to earth, or the secondary circuits shall be segregated by earthed metallic screening, in accordance with the recommendations of Clause 10.

The earthable point of the secondary circuit shall be determined in such a way that electrical interference is avoided.

Instrument transformers shall be installed in such a way that their secondary terminals are easily accessible when the switchgear assembly has been de-energized.

6.2.4.1 Current transformers

The rated overcurrent factor and the rated burden shall be selected so as to ensure correct functioning of the protective equipment and prevent damage to measuring equipment in the event of a short-circuit.

In high-voltage networks where the primary time constant is long and where reclosing is practiced, it is recommended that the transient stress due to the aperiodic portion of the short-circuit current be taken into account. The recommendations of IEC 60044-6 should be considered.

If measuring devices are also connected to protective current transformer cores, the measuring devices shall, if necessary, be protected against the damage resulting from large short-circuit currents by means of suitable auxiliary transformers.

If necessary, an effective screen between the primary and secondary circuit shall be provided for the reduction of the transient overvoltages on secondary circuits arising from the switching operation.

To protect against dangerous overvoltages, provisions shall be made to facilitate shorting the secondary windings of current transformers.

6.2.4.2 Voltage transformers

Voltage transformers shall be selected in such a way that the nominal output and accuracy are adequate for the connected equipment and wiring. The effects of ferroresonance shall be considered.

The secondary side of voltage transformers shall be protected against the effects of short-circuits, and it is recommended that protective devices be monitored.

6.2.5 Surge arresters

Surge arresters shall be designed or positioned in such a way as to provide personnel safety in case of breaking of the housing or operating of any pressure relief device.

The volt-time characteristics of surge arresters installed in the same circuit as current-limiting fuses shall take into account the overvoltages produced by the fuses.

If monitors are provided in the earth conductor of non-linear resistor type arresters, then the conductor between an arrester and the monitor, and the monitor itself, shall be protected in such a way as to prevent it being touched. It shall be possible to read the monitors and any counters with the equipment energized.

6.2.6 Capacitors

The risk of resonance and overvoltages due to harmonics shall be taken into consideration, and appropriate means for limitation of this risk shall be provided.

For the selection of the rated voltage and the current capacity of capacitors, the voltage increase caused by inductive reactances connected in series such as damping reactors and sound frequency or filter circuits shall be considered.

Capacitors for coupling, voltage measuring and over-voltage protection shall be selected according to the rated voltage of the switchgear, even if the operating voltage is lower.

Safe discharge of power capacitors shall be guaranteed. Discharge units shall be thermally and mechanically capable of carrying out their task.

The short-circuiting and earthing facilities provided for a capacitor bank shall take into account the interconnection of units within the bank, the discharge resistors and the type of fusing.

6.2.7 Line traps

The bandwidth shall be determined in accordance with the network frequency allocation.

6.2.8 Insulators

Unless otherwise specified, the minimum specific creepage distance of insulators shall comply with the recommendations of IEC/TS 60815-1, IEC/TS 60815-2 and IEC/TS 60815-3 for the level of pollution specified by the user.

The requirements of the wet test procedure of IEC 62271-1:2007 shall apply for all external insulation.

Insulator profiles and/or requirements for performance of outdoor insulators in polluted or heavy wetting conditions may be specified by the user.

6.2.9 Insulated cables

6.2.9.1 Temperature

Insulated cables shall be selected and laid in such a way that the maximum permitted temperature is not exceeded for conductors, their insulation, the connections, the equipment terminals or the surroundings under the following conditions:

a) normal operation;

b) special operating conditions, subject to previous agreement between the supplier and the user;

c) short-circuit.

The connection of a cable to equipment (for example motors, circuit-breakers) shall not result in the cable being subjected to temperatures higher than those admissible for the cable in the foreseeable operating conditions.

6.2.9.2 Stress due to temperature changes

The stress on equipment due to temperature-dependent changes in the length of conductors shall be taken into account. If necessary, the stress shall be relieved by suitable measures (for example flexible connections, expansion terminations or snaking). If these measures are not taken, the additional forces due to temperature changes shall be taken into account during verification of the mechanical strength of the equipment.

6.2.9.3 Flexible reeling and trailing cables

Flexible reeling and trailing cables shall be selected in accordance with the following requirements and conditions:

a) trailing cables, or cables having at least equivalent mechanical and electrical characteristics as trailing cables, shall be used for supplying power to hoisting mobile or moveable equipment;

b) in the case of more severe mechanical stress, for example where the cables are subject to abrasion, tension, deflection or winding during operation, double-sheathed trailing cables or cables with at least equivalent mechanical and electrical characteristics as trailing cables shall be used;

c) insulated cables for the power supply of hoisting mobile or moveable equipment shall contain a protective earth conductor;

d) the design of any connection, be it a joint, termination or other connection arrangement shall be such that in the event of a strain being placed upon the cable, the protective conductor shall be the last to part or separate;

e) insulated cables which are to be wound on a drum shall be dimensioned so that when the conductor is fully wound and subject to the normal service loading, the maximum permitted temperature is not exceeded.

The terminal ends of flexible and trailing cables shall be free from tension and compression; cable sleeves shall be protected against stripping and cable ends against twisting. The terminals shall also be designed so that the cables will not kink.

6.2.9.4 Crossings and proximities

Where insulated cables cross or are near to gas, water or other pipes, an appropriate clearance shall be maintained between cables and the pipelines. Where this clearance cannot be maintained, contact between the cables and the pipelines shall be prevented, for example, by the insertion of insulating shells or plates. These measures shall be coordinated with the operator of the pipeline. In the case of a long parallel routing, a calculation of the overvoltage induced on the pipeline during a short-circuit shall be effected. It may be necessary to

determine appropriate measures (for example, an alternative routing for the cables or pipelines, or a greater clearance between cables and pipelines).

Where insulated cables cross or are near to telecommunication installations, an appropriate clearance shall be maintained between cables and telecommunication installations.

In the case of a long parallel routing, the overvoltage induced on the telecommunication installation during a short-circuit shall be calculated (for guidance refer to ITU directives). It may be necessary to take appropriate measures to reduce this overvoltage (alternative routing for the cables or the telecommunication installations, greater clearance between cables and telecommunication installations).

Where insulated cables cross or are near to other insulated cables, the mutual thermal effects shall be calculated in order to determine the minimum clearance between cables or to determine other appropriate measures (e.g. derating). Cables shall be installed at a sufficient distance from heat sources or shall be separated from such heat sources by means of thermal insulating shields.

NOTE Crossing and proximity of insulated cables, gas and water pipes or other pipes and appropriate clearance should be in compliance with national regulations and standards.

6.2.9.5 Installation of cables

Provision of suitable access shall be made for the maintenance and testing of cables (see Clause 11).

Care shoud be taken to protect the cable from mechanical damage during and after installation as follows:

a) to avoid any damage to the cable, the laying operations shall be performed at the ambient temperature specified by the equipment standards or by the manufacturer;

b) single-core insulated cables shall be laid in such a way as to ensure that the forces resulting from short-circuit currents do not cause damage;

c) the method of laying shall be chosen to ensure that the external effects are limited to acceptable safe values. In addition, when buried in troughs, the cables shall be installed at a specific depth and covered by slabs or a warning grid to prevent any damage being caused by third parties. Underground and submarine cables should be mechanically protected where they emerge from the water or the soil;

d) laying of cables in earth shall be carried out on the bottom of a cable trench free of stones. The bedding shall be in sand or soil, free of stones. Special constructions of cables can be chosen, if necessary, to protect against chemical effects;

e) measures shall be taken to prevent cables in troughs from being damaged by vehicles running over them;

f) ground movements and vibrations shall be taken into account;

g) for vertical installations, the cable suitable for that installation shall be supported by suitable cleats, at intervals determined by the cable construction, and information provided by the manufacturer.

h) if single-core cables are laid through reinforced ceilings and walls the possibility of heating the steel reinforcing bars shall be considered. If necessary, suitable structural measures to limit the heating shall be determined.

Cables installed in metallic pipes shall be grouped in such a way that the conductors of all phases (and the neutral, if any) of the same circuit are laid in the same pipe to minimize eddy currents. Consideration should be given to the location of the earthing conductor.

Insulated cables shall be installed so that touch voltages are within the permissible values, or so that accessible parts with impermissible touch voltages are protected against contact by adequate measures.

NOTE There may be a risk of high circulating currents in screens of sheathed single-core cables, especially when laid flat.

Metallic sheaths shall be earthed in accordance with Clause 10.

The length of cable connecting transformers and reactors to a circuit shall be selected so as to minimize the occurrence of ferroresonance.

Care shall be taken to limit the mechanical stress on equipment when connecting power cables.

6.2.9.6 Bending radius

The minimum values of bend radius during and after installation are dependent on the type of cable. These are given in the relevant standards or shall be specified by the manufacturer.

6.2.9.7 Tensile stress

The maximum permissible tensile stress during laying depends on the nature of the conductor and on the type of cable. These are given in the relevant standards or shall be specified by the manufacturer.

The continuous static and peak tensile stress applied to the conductors of flexible and trailing cables shall be as small as possible, and shall not exceed the values given by the manufacturer.

6.2.10 Conductors and accessories

This subclause deals with conductors (rigid or flexible) and accessories, which are part of outgoing feeders or busbars in installations.

Covered conductors shall be treated as bare conductors.

Provision shall be made to allow for the expansion and contraction of conductors caused by temperature variations. This shall not apply where the stress caused by temperature variations has been allowed for in the conductor system design.

Joints between conductors and connections between conductors and equipment shall be without defects and shall not deteriorate while in service. They shall be chemically and mechanically stable. The joint faces shall be suitably prepared and connected as specified for the type of connection. The temperature rise of a connection between conductors and switchgear in service shall not exceed the values specified in IEC 62271-1:2007.

NOTE The open ends of tubular busbars should be plugged to prevent corrosion and birds nesting.

Provision shall be made to avoid possible resonant oscillation of tubular busbars caused by wind.

6.2.11 Rotating electrical machines

The risk of personal injury from faults within the terminal boxes of machines shall be minimized. The terminal boxes of motors shall withstand the local short-circuit conditions. Current-limiting devices may be necessary.

The degree of protection of the equipment against the ingress of objects, dust and water shall be chosen in accordance with the ~~special~~ climatic and environmental conditions at the site of

installation. Hazardous parts of the machine shall be protected against accidental contact by persons. The degree of protection shall be defined in accordance with IEC 60529.

The insulation level of the machine shall be selected in accordance with IEC 60034-1.

Sufficient cooling shall be provided.

NOTE Machines should be protected against exceeding the maximum permitted temperature rise by use of suitable electric protective devices. Particularly for large machines or those critical for a production process, protection devices should be installed which indicate an internal fault of the machine or, if necessary, automatically shut it down.

The overall design of the installation shall identify requirements for the type of motor enclosure, particularly if the motor is to be installed in a hazardous area. In addition, safety issues such as noise levels, maximum temperature of surfaces accessible to personnel, control of spillage and guarding, shall meet the particular requirements of the installation.

Starting large motors results in voltage drops in the electrical distribution system. Different techniques are available for reducing the impact on the electrical network when starting large motors. The protection equipment shall be designed to provide adequate protection of the motor during the complete starting sequence.

The contribution of large motors to the short-circuit current shall be considered.

6.2.12 Generating units

The type of power rating for the generating unit shall be stated (e.g. continuous, prime, or standby power). Operation of the generator in parallel with the utility or in parallel with other generators should be stated. The switching devices to be used for synchronizing shall be defined.

The overall design of the installation shall identify the general safety requirements specific to the equipment, particularly for fire protection and use of hydrogen. See IEC 60034-3.

6.2.13 Generating unit main connections

For small generating units, selection and specification of generator main connections (busbars) may be based upon appropriate clauses of IEC 62271-200.

However, particular care shall be taken in the selection of rated peak making currents. It may also be necessary to specify additional testing or calculations for connections that are not factory-built and type-tested.

Where necessary, fault studies shall be conducted to establish peak making and short-time withstand currents, particularly for branch connections of reduced cross-section (e.g. to auxiliary transformers).

For larger generating units, and where higher system security is required, it is recommended to use phase isolated or phase segregated busbar systems.

The impact of the magnetic field due to the use of generating unit main connections without metallic enclosures shall be considered in the design of the installation.

The design shall take into account the fact that when a generating unit is off line but rotating at low speed to prevent deformation of the generator shaft:

a) there is a possibility of induced voltages presenting a safety hazard; and

b) means shall be provided to change the off-circuit tap position on transformers connected directly to generator terminals.

NOTE When connections between the generator and the transformer are short, provision should be made to add capacitors in the connection gear to limit overvoltages which can occur during switching.

6.2.14 Static converters

Accessible parts of converter units that can carry dangerous voltage during normal operation or under fault conditions shall be adequately marked and shall be adequately protected against accidental contact by persons. This may be achieved by providing suitable protective barriers.

The cooling and heat transfer mediums shall not contain mechanical pollution or chemically aggressive components which might cause malfunction of the equipment.

When water is used as coolant, the possibility of corrosion caused by leakage currents (currents due to the conductivity of water) shall be considered.

When oil is used as coolant, similar protection against fire and pollution of ground water shall be provided as for oil-filled transformers and reactors.

When planning the layout of converter units, the possibility of magnetic interference, caused by high a.c. currents, on other equipment or parts of the installation, especially steel components, shall be considered.

6.2.15 Fuses

6.2.15.1 Clearances

Minimum electrical clearances for fuse assembly installations shall take into consideration all possible positions of the live parts before, during and after operation.

Vented fuses shall be provided with adequate clearances or appropriate protective barriers in the direction or directions in which they are vented. Discharges from vented fuses may contain hot gases, arc plasma and molten metal. They may also be conductive.

Facilities shall be provided to ensure that personnel are not exposed to discharges of vented fuses either during replacement or when working in the area. When this is not possible, the circuit feeding the fuse shall be de-energized prior to possible exposures, or the personnel shall use protective shielding and clothing.

6.2.15.2 Fuse replacement

Fuses shall be installed in such a way that their replacement can be carried out safely according to manufacturer’s instructions.

NOTE All necessary information should be available to the operating and maintenance personnel for the proper selection of replacement fuses.

6.2.16 Electrical and mechanical Interlocking

Interlocking may be necessary to ensure the correct sequence of operation of equipment, to prevent danger to personnel and to prevent damage to the equipment.

Interlocking may be achieved by electrical or mechanical methods. In the event of the loss of power supplies, electrical interlocking schemes shall be designed to fail safely.

7 Installations

7.1 General requirements

This clause specifies only general requirements for the installations regarding choice of circuit arrangement, circuit documentation, transport routes, lighting, operational safety and labelling.

Distances, clearances and dimensions specified are the minimum values permitted for safe operation. They are generally based on the minimum values given in the former national standards of the IEC members. A user may specify higher values if necessary.

NOTE For minimum clearances (N) of live parts, refer to 5.4 and to Table 1, Table 2 and Annex A.

National standards and regulations may require the use of higher clearance values.

Where an existing installation is to be extended, the requirements applicable at the time of its design and erection may be specified as an alternative.

The relevant standards for operation of electrical (power) installations shall additionally be taken into account. Operating procedures shall be defined by the user (see 7.1.1).

7.1.1 Circuit arrangement

The circuit arrangement shall be chosen to meet operating requirements and to enable implementation of the safety requirements in accordance with 8.3. The continuity of service under fault and maintenance conditions, taking into account the network configuration, shall also be considered. The circuits shall be arranged so that switching operations can be carried out safely and quickly.

Each electrically separated system shall be provided with an earth fault indicating device which permits detection or disconnection of an earth fault.

It shall be ensured that isolated sections of an installation cannot be inadvertently energized by voltage from parallel connected secondary sources (for example instrument transformers).

Isolating equipment accessible to the general public shall be capable of being locked.

Installations shall be capable of withstanding the thermal and dynamic stresses resulting from short-circuit current in accordance with Clause 4.

The circuit arrangement may, however, be configured in such a way that sections of the installation which are normally operated separately are interconnected for short periods during switching operations, even when, as a result of such connection, the short-circuit current exceeds the design rating for the installation. In such cases, suitable protective measures shall be taken to prevent danger to personnel. Defined operating procedures may be required for this purpose.

NOTE 1 This situation may be unavoidable in operation if, for example, feeders are switched from one busbar to another.

In circuits that have current-limiting protective devices, equipment and short connections may have ratings that correspond to the cut-off (let through) current of the current-limiting device.

NOTE 2 Equipment located between the busbar and the current-limiting devices will have sufficient through-fault current duty only in case of faults on the load side of the current-limiting devices.

7.1.2 Documentation

Where applicable, the documentation shall be provided with each installation to allow erection, commissioning, operation, maintenance and environmental protection.

The extent and the language of the documentation shall be agreed upon between the supplier and the user.

Diagrams, charts and tables, if any, shall be prepared in accordance with IEC 60617 and IEC 61082-1.

7.1.3 Transport routes

Transport routes, their load capacity, height and width shall be adequate for movements of anticipated transport units and shall be agreed upon between the supplier and the user.

Within closed electrical operating areas, the passage of vehicles or other mobile equipment beneath or in proximity to live parts (without protective measures) is permitted, provided the following conditions are met (see Figure 5):

– the vehicle, with open doors, and its load does not infringe the danger zone: minimum protective clearance for vehicles $T = N + 100$ (minimum 500 mm);

– the minimum height, H, of live parts above accessible areas is maintained (see 7.2.4).

Under these circumstances, personnel may remain in vehicles or mobile equipment only if there are adequate protective measures on the vehicle or mobile equipment, for example the cab roof, to ensure that the danger zone defined above cannot be infringed.

For the lateral clearances between transport units and live parts, similar principles apply.

7.1.4 Aisles and access areas

The width of aisles and access areas shall be adequate for work, operational access, emergency access, emergency evacuation and for transport of equipment.

NOTE Maintenance and operating areas in buildings see 7.5.4

7.1.5 Lighting

Accessible indoor and outdoor installations shall be provided with suitable lighting for routine operations.

Emergency/auxiliary lighting shall be provided if necessary; this may be a fixed installation or portable equipment.

In some cases, in small distribution substations, a lighting installation may not be required. In such cases, the presence and extent of the lighting shall be agreed upon between the supplier and the user.

Any part of the lighting installation which needs maintenance or replacement, for example lamps, shall be installed so that when the work is carried out correctly, the working clearance to live parts can be maintained.

NOTE Lighting levels should be in accordance with current applicable international and/or national standards and regulations.

7.1.6 Operational safety

Operational safety installations shall be designed so that the escape and rescue paths and the emergency exit can be safely used in the event of a fire, and that protection and environmental compatibility are ensured.

Where necessary, installations themselves shall be protected against fire hazard, flooding and contamination. If required, additional measures shall be taken to protect important installations against the effects of road traffic (salt spray, vehicle accident).

7.1.7 Labelling

Identification and labelling are required to avoid operating errors and accidents.

All important parts of the installation, for example busbar systems, switchgear, bays, conductors, shall be clearly, legibly and durably labelled.

Safety warnings, for example warning notices, safety instruction notices and informative notices shall be provided at suitable points in the installation (see 8.9).

NOTE 1 Local and national regulations should be taken into account.

NOTE 2 Informative notices should be provided for the operation of key-interlocking schemes.

NOTE 3 Safety warnings may be provided wherever multiple sources of high-voltage power are required to be disconnected for the complete deenergization of equipment or where equipment may be inadvertently back-fed.

7.2 Outdoor installations of open design

The layout of open type outdoor installations shall take into account the minimum phase-to-phase and phase-to-earth clearances given in Clause 5.

The design of the installation shall be such as to restrict access to danger zones, taking into account the need for operational and maintenance access. External fences shall therefore be provided and, where safety distances cannot be maintained, permanent protective facilities shall be installed. For electrical installations on mast, pole and tower external fences may not be required, if the installation is inaccessible from ground level to the general public and meet the safety distances given in 7.7.

A separation shall be provided between bays or sections by appropriate distances, protective barriers or protective obstacles.

7.2.1 Protective barrier clearances

Within an installation, the following minimum protective clearances shall be maintained between live parts and the internal surface of any protective barrier (see Figure 1):

– for solid walls, without openings, with a minimum height of 1 800 mm, the minimum protective barrier clearance is $B_1 = N$;

– for wire meshes, screens or solid walls~~,~~ with openings, with a minimum height of 1 800 mm and a degree of protection of ~~IP1XB~~ IPXXB (see IEC 60529), the minimum protective barrier clearance is $B_2 = N +$ ~~100~~ 80 mm ~~for equipment, where U_m is greater than 52 kV;~~.

~~– for wire meshes, screens or solid walls, with openings, with a minimum height of 1 800 mm and a degree of protection of IP2X (see IEC 60529), the minimum protective barrier clearance is $B_3 = N +$ 80 mm for equipment, where U_m is up to 52 kV.~~

NOTE The degree IPXXB ensures protection against access to hazardous parts with fingers.

For non-rigid protective barriers and wire meshes, the clearance values shall be increased to take into account any possible displacement of the protective barrier or mesh.

7.2.2 Protective obstacle clearances

Within installations the following minimum clearance shall be maintained from live parts to the internal surface of any protective obstacle (see Figure 1):

– for solid walls or screens less than 1 800 mm high, and for rails, chains or ropes, the minimum protective obstacle clearance is O_2 = N + 300 mm (minimum 600 mm);

– for chains or ropes, the values shall be increased to take into account the sag.

Where appropriate, protective obstacles shall be fitted at a minimum height of 1 200 mm and a maximum height of 1 400 mm.

NOTE Rails, chains and ropes are not acceptable in certain countries.

7.2.3 Boundary clearances

The external fence of outdoor installations of open design shall have the following minimum boundary clearances in accordance with Figure 2:

– solid walls (height see 7.2.6) : C = N + 1 000 mm;

– wire mesh/screens (height see 7.2.6) : E = N + 1 500 mm.

7.2.4 Minimum height over access area

The minimum height of live parts above surfaces or platforms where only pedestrian access is permitted shall be as follows:

– for live parts without protective facilities, a minimum height H = N + 2 250 mm (minimum 2 500 mm) shall be maintained (see Figure 3). The height H refers to the maximum conductor sag (see Clause 4);

– the lowest part of any insulation, for example the upper edge of metallic insulator bases, shall be not less than 2 250 mm above accessible surfaces unless other suitable measures to prevent access are provided.

Where the reduction of safety distances due to the effect of snow on accessible surfaces needs to be considered, the values given above shall be increased.

7.2.5 Clearances to buildings

Where bare conductors cross buildings which are located within closed electrical operating areas, the following clearances to the roof shall be maintained at maximum sag (see Figure 4):

– the clearances specified in 7.2.4 for live parts above accessible surfaces, where the roof is accessible when the conductors are live;

– N + 500 mm where the roof cannot be accessed when the conductors are live;

– O_2 in lateral direction from the end of the roof if the roof is accessible when the conductors are live.

Where bare conductors approach buildings which are located within closed electrical operating areas, the following clearances shall be maintained, allowing for the maximum sag/swing in the case of stranded conductors:

– outer wall with unscreened windows: minimum clearance given by D_V;

– outer wall with screened windows (screened in accordance with 7.2.1): protective barrier clearances B_2 in accordance with 7.2.1;

– outer wall without windows: N.

7.2.6 External fences or walls and access doors

Unauthorized access to outdoor installations shall be prevented. Where this is by means of external fences or walls, the height and construction of the fence/wall shall be adequate to deter climbing.

Additional precautions may be required in some installations to prevent access by excavation beneath the fence.

The external fence/wall shall be at least 1 800 mm high. The lower edge of a fence shall not be more than 50 mm from the ground (for clearances see Figure 2).

Access doors to outdoor installations shall be equipped with security locks.

External fences/walls and access doors shall be marked with safety signs in accordance with 8.8.

In some cases, for public security reasons, additional measures may be necessary.

The degree of protection of IP1X (see IEC 60529) shall be used.

NOTE The use of metal mat fences with a mesh size of 50 mm x 200 mm (width x height) is applicable if the design of fencing prevents unauthorized entrance.

7.3 Indoor installations of open design

The layout of open-type indoor installations shall take into account the minimum phase-to-phase and phase-to-earth clearances specified in Clause 5.

The design of the installation shall be such as to prevent access to danger zones taking into account the need of access for operational and maintenance purposes. Therefore, safety distances or permanent protective facilities within the installation shall be provided.

For protective barrier clearances, safety distances and minimum height, see 7.2.

For buildings, corridors, escape routes, doors and windows, see 7.5.

For solid walls or screens less than 1 800 mm high, and for rails, chains or ropes, the protective obstacle clearances are at least

$$O_1 = N + 200 \text{ mm (minimum 500 mm, see Figure 1)}$$

For chains or ropes, the values shall be increased taking into account the sag. They shall be fitted at a minimum height of 1 200 mm to a maximum of 1 400 mm, where appropriate.

7.4 Installation of prefabricated type-tested switchgear

7.4.1 General

This subclause specifies additional requirements for equipment which apply to external connections, erection and operation at the place of installation. The installation shall be dimensioned and designed to avoid danger to persons and damage to property, taking into account the type of installation and local conditions.

Factory-built, type-tested high voltage switchgear shall be manufactured and tested in accordance with relevant IEC standards such as IEC 62271-1:2007, IEC 62271-200, IEC 62271-201 and IEC 62271-203.

NOTE In some countries, switchgear complying with IEC 62271-201 may be considered as an open type indoor installation.

The switchgear shall be well adapted to its purpose, clearly arranged and so designed that essential parts are accessible for erection, operation and maintenance. Arrangements and access shall be provided to permit assembly at site. Future possible extensions should be considered.

Appropriate arrangements shall be made for external connections. Conductors and cables shall be selected and arranged in such a way as to ensure safe insulation level between conductors and between each conductor and surrounding earthed metallic structures.

Safety devices that are intended to reduce the internal switchgear pressure resulting from a fault shall be designed and arranged with consideration for their potential hazard to personnel. The accumulation of dangerous concentrations of gas decomposition products in switch rooms shall be prevented.

7.4.2 Additional requirements for gas-insulated metal-enclosed switchgear

7.4.2.1 Design

If platforms and ladders are necessary for operation and maintenance, they shall be designed and arranged to provide safe access for personnel. These elements may be fixed or removable.

Where necessary, arrangements shall be made to protect the switchgear from dangerous vibrations from transformers/reactors with gas-insulated connections. Bellows shall be provided, where necessary, to allow for heat expansion, erection tolerances and settlement of foundations.

For gas-insulated installations with several pressure chambers, clear labels shall be provided indicating the construction of the installation and the position of partitions. Monitoring devices shall be clearly marked and located to permit easy supervision.

Gas pipelines and fittings in areas where mechanical damage is expected shall be protected.

SF_6 gas pipelines shall be marked where there is a possibility of confusion with other pipelines.

7.4.2.2 Erection on site

Erection of GIS shall be carried out in a clean environment.

For outdoor installations, it may be necessary to provide a suitable temporary enclosure over the work area to protect the equipment from the environmental conditions whilst installation and/or maintenance is taking place.

For SF_6 gas handling, see 9.4.

For SF_6 leakage, see 8.8.2 and 8.8.3.

7.4.2.3 Protection against overvoltages

Protection of the GIS against overvoltages should normally be provided by the surge arresters installed on the feeders. In some cases, the protection given by this equipment may be inadequate. This situation arises mainly in the following configurations:

– large distance between the GIS and transformers;

– transformers connected to the GIS by means of cables;

– long busbars open at their ends;

– connection to overhead lines by means of insulated cables;

– locations with high probability of lightning strikes.

For these configurations, the installation of additional surge arresters may be required. Their location should be based on experience with similar situations or on calculations.

7.4.2.4 Earthing

The enclosure of a GIS should be connected to the earthing system at least at the following points:

a) inside the bays:
   – close to the circuit-breaker;
   – close to the cable sealing end;
   – close to the SF_6/air bushing;
   – close to the instrument transformer.

b) on the busbars:
   – at both ends and at intermediate points, depending on the length of the busbars.

The three enclosures of a single-phase type GIS shall be bonded together ~~before earthing. The bonding conductor shall either be rated to carry the nominal current of the bays and busbars, or if a lower rated bonding conductor is used, then it shall be proved by tests that no danger will arise during operation~~ with short connections and earthed at least at the end of the enclosure of the outgoing and incoming feeders.

Additional bonding straps are not required at flange joints if it can be ensured that the contact pressure of the flange provides adequate contact connection for high frequencies.

Earthing conductors of surge arresters for the protection of gas-insulated installations shall be connected by as short a connection as possible to the enclosure.

Metallic sheaths (for example metal enclosures, armoured coverings, screens) of cables with nominal voltages above 1 kV should be connected directly to the GIS enclosure.

In some special cases, e.g. cathodic protection of cables, it may be necessary to separate the earth connection of the cables from the GIS enclosure. In this case, the installation of a voltage surge protection device is recommended between the sealing end and enclosure.

7.5 Requirements for buildings

7.5.1 Introduction

Buildings shall comply with national building codes and fire regulations. Where such national standards do not exist, the following may be used as a guide.

This subclause indicates the requirements that have to be satisfied in areas or locations where electrical equipment for high-voltage installations is installed. For the purpose of this standard, prefabricated substations covered by IEC 62271-202 are not considered as buildings.

7.5.2 Structural provisions

7.5.2.1 General

Load-carrying structural members, partition walls, claddings, enclosures, etc. shall be selected to withstand the expected combustible load.

Electrical operating areas shall be designed to prevent ingress of water and to minimize condensation.

Materials used for walls, ceilings and floors on the ground shall, where possible, not be damaged by water penetration or leakage. If this requirement cannot be met, precautions shall be taken to prevent the consequences of a leak or of condensation affecting the operating safety.

The building design shall take into account the expected mechanical loading and internal pressure caused by an arc fault.

Pipelines and other equipment, if allowed in substations, shall be designed so that the electrical installation is not affected, even in the event of damage.

7.5.2.2 Specifications for walls

The external walls of the building shall have sufficient mechanical strength for the environmental conditions.

The mechanical strength of the buildings shall be sufficient to withstand all static and dynamic loads due to normal operation of the installation.

The passage of pipes or wiring systems shall not affect the structural integrity of the walls.

Metal parts that pass through walls shall meet the requirements of Clause 10.

Panels of the exterior surface of buildings that are accessible to the general public shall not be removable from the outside. The constituent materials of the external enclosures shall be capable of withstanding the attacks of atmospheric elements (rain, sun, aggressive wind, etc.).

7.5.2.3 Windows

Windows shall be designed so that entry is difficult. This requirement is considered fulfilled if one or more of the following measures are applied:

– the window is made of unbreakable material;
– the window is screened;
– the lower edge of the window is at least 1,8 m above the access level;
– the building is surrounded by an external fence at least 1,8 m high.

7.5.2.4 Roofs

The roof of the building shall have sufficient mechanical strength to withstand the environmental conditions.

If the ceiling of the switchgear room is also the roof of the building for pressure relief, the anchoring of the roof to the walls shall be adequate.

7.5.2.5 Floors

The floors shall be flat and stable and shall be able to support the static and dynamic loads.

7.5.3 Rooms for switchgear

The dimensions of the room and of the required pressure relief openings depend on the type of switchgear and the short-circuit current.

If pressure relief openings are necessary, they shall be arranged and situated in such a way that when they operate (blow out due to an arc fault) the danger to persons and damage to property is minimized.

7.5.4 Maintenance and operating areas

Maintenance and operating areas comprise aisles, access areas, handling passages and escape routes.

Aisles and access areas shall be adequately dimensioned for carrying out work, operating switchgear and transporting equipment.

Aisles shall be at least 800 mm wide.

The width of the aisles shall not be reduced even where equipment projects into the aisles, for example permanently installed operating mechanisms or switchgear trucks in isolated positions.

Space for evacuation shall always be at least 500 mm, even when removable parts or open doors, which are blocked in the direction of escape, intrude into the escape routes.

For erection or service access ways behind closed installations (solid walls), a minimum width of 500 mm is required.

Clear and safe access for personnel shall be provided at all times.

NOTE The doors of switchgear cubicles or bays should close in the direction of escape.

Below ceilings, covers or enclosures, except cable accesses, a minimum height of 2 000 mm is required.

Exits shall be arranged so that the length of the escape route within the room does not exceed 40 m for installation of rated voltages U_{m} greater than 52 kV, and 20 m for installation of rated voltages up to U_{m} = 52 kV. This does not apply to accessible bus ducts or cable ducts. If the above distances of the escape route cannot be met, an agreement shall be made with the user.

Permanently installed ladders or similar are permissible as emergency exits in escape routes.

7.5.5 Doors

Access doors shall be equipped with security locks to prevent unauthorised entry.

Access doors shall open outwards and be provided with safety signs in accordance with 8.9.

Doors which lead to the outside shall be of low flammability material, except where the building is surrounded by an external fence at least 1,8 m high.

Doors between various rooms within a closed electrical operating area are not required to have locks.

It shall be possible to open emergency doors from the inside without a key by using a latch or other simple means, even when they are locked from the outside. This requirement need not be complied with for small installations where the door has to be kept open during operating or servicing.

The minimum height of an emergency door shall be 2 m and the minimum clear opening 750 mm.

7.5.6 Draining of insulating liquids

Protective measures shall be taken when insulating liquids are used (see also 8.8).

7.5.7 Air conditioning and ventilation

Indoor climate conditions shall be established e.g. by adequate cooling, heating, dehumidifying, ventilation or by adequate design of the building.

It is preferable to use natural ventilation for transformer rooms.

Forced ventilation systems (permanent or mobile) shall be designed to take into consideration smoke removal from the building.

Monitoring of the operation of a permanent fan is recommended.

Ventilation openings shall be designed so as to prevent any dangerous proximity to live parts and any dangerous ingress of foreign bodies.

Coolants and heat transfer media shall not contain mechanical impurities or chemically aggressive substances in quantities or qualities which may be hazardous to the correct function of the equipment in the installation.

Filters or heat exchangers shall be provided, if necessary.

Mechanical ventilation systems shall be so arranged and placed that inspection and maintenance can be carried out even when the switchgear is in operation.

7.5.7.1 Ventilation of battery rooms

Rooms containing batteries shall take into account the ventilation requirements, if necessary, depending on battery types, to prevent the explosive build-up of combustible gas during battery charging.

7.5.7.2 Rooms for emergency generating units

Consideration should be given to installing emergency generating units in separate rooms.

Ventilation equipment shall be provided. Containment shall be provided to capture and control fuel or lubricating oil spills.

Engine exhaust systems shall be installed and located such that exhaust fumes shall not return to the ventilating air intake of the switchgear and control rooms, nor enter the air intake for the emergency generating unit.

7.5.8 Buildings which require special consideration

For high-voltage installations located in public or residential buildings, special conditions shall be imposed, in accordance with existing standards or national regulations.

7.6 High voltage/low voltage prefabricated substations

For the rules governing manufacture and testing, see IEC 62271-202.

Compact substations shall be situated so that they are unlikely to be damaged by road vehicles. Adequate space for operating and maintenance purposes shall also be provided.

7.7 Electrical installations on mast, pole and tower

The minimum height H' of live parts above surfaces accessible to the general public shall be

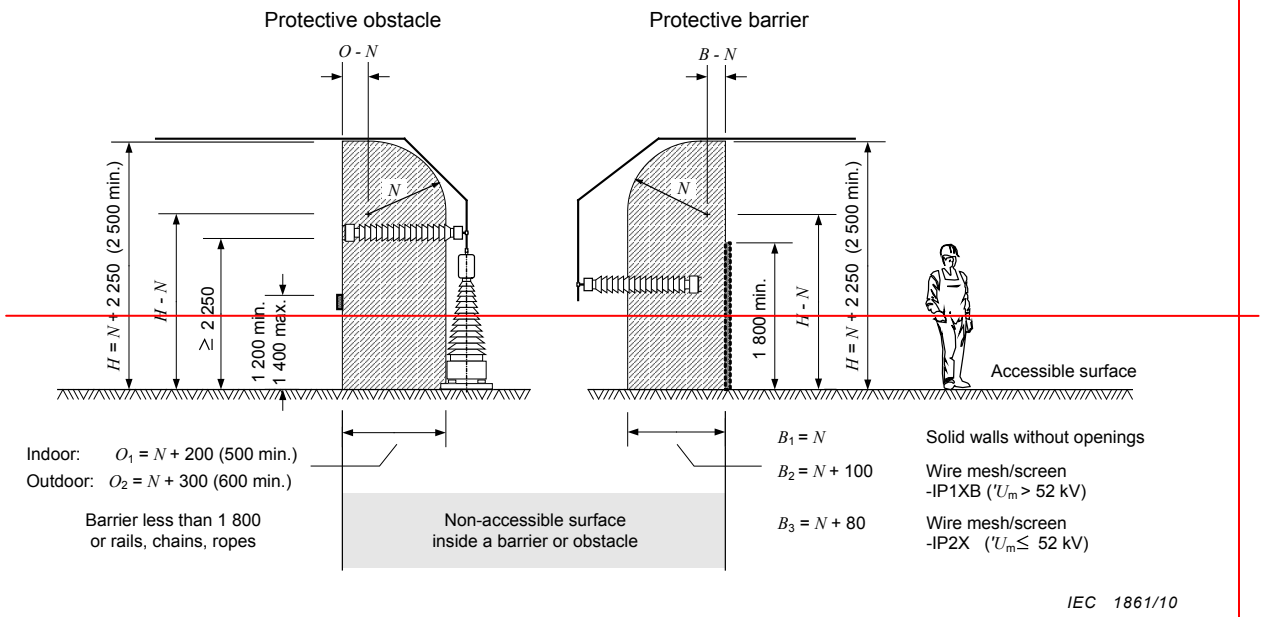
- H' = 4 300 mm for rated voltages U_m up to 52 kV;
- H' = N + 4 500 mm (minimum 6 000 mm) for rated voltages U_m above 52 kV;

  where N is the minimum clearance.

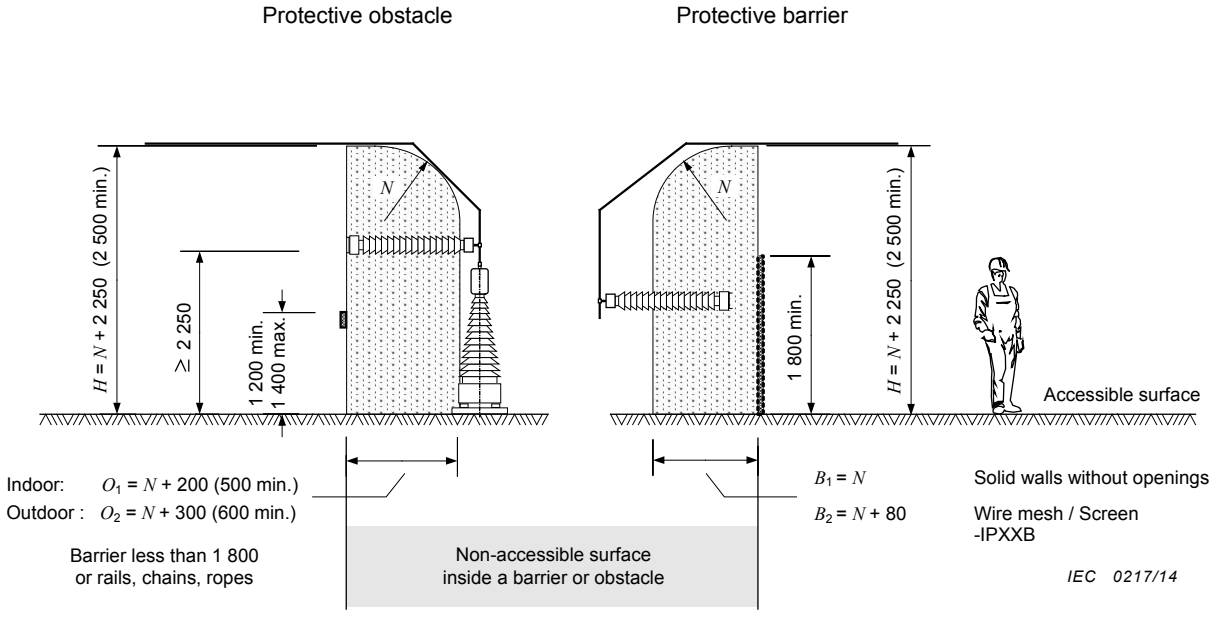
Where the reduction of safety distances due to the effect of snow on accessible surfaces needs to be considered, the values given above shall be increased.

Isolating equipment and fuses shall be arranged so that they can be operated without danger. Isolating equipment accessible to the general public shall be capable of being locked. The operating rods shall be compliant with the relevant standard.

Safe phase-to-phase connection and earthing of the overhead line shall be possible.



Dimensions in millimetres



Dimensions in millimetres

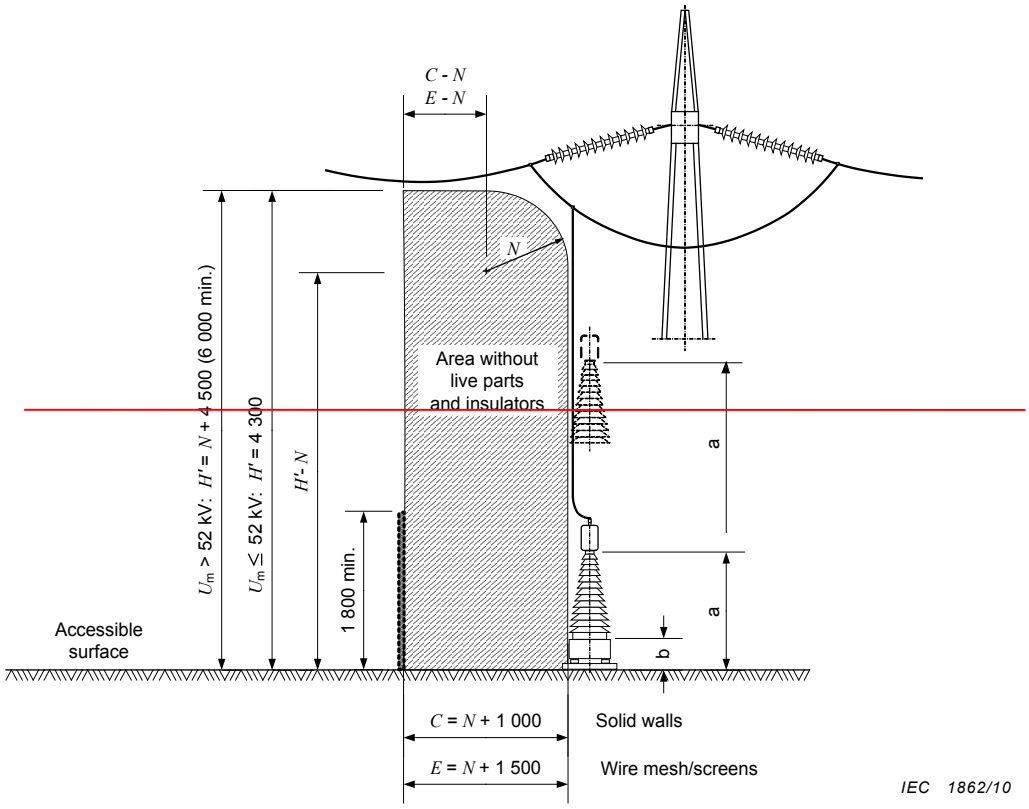
Key

N Minimum clearance

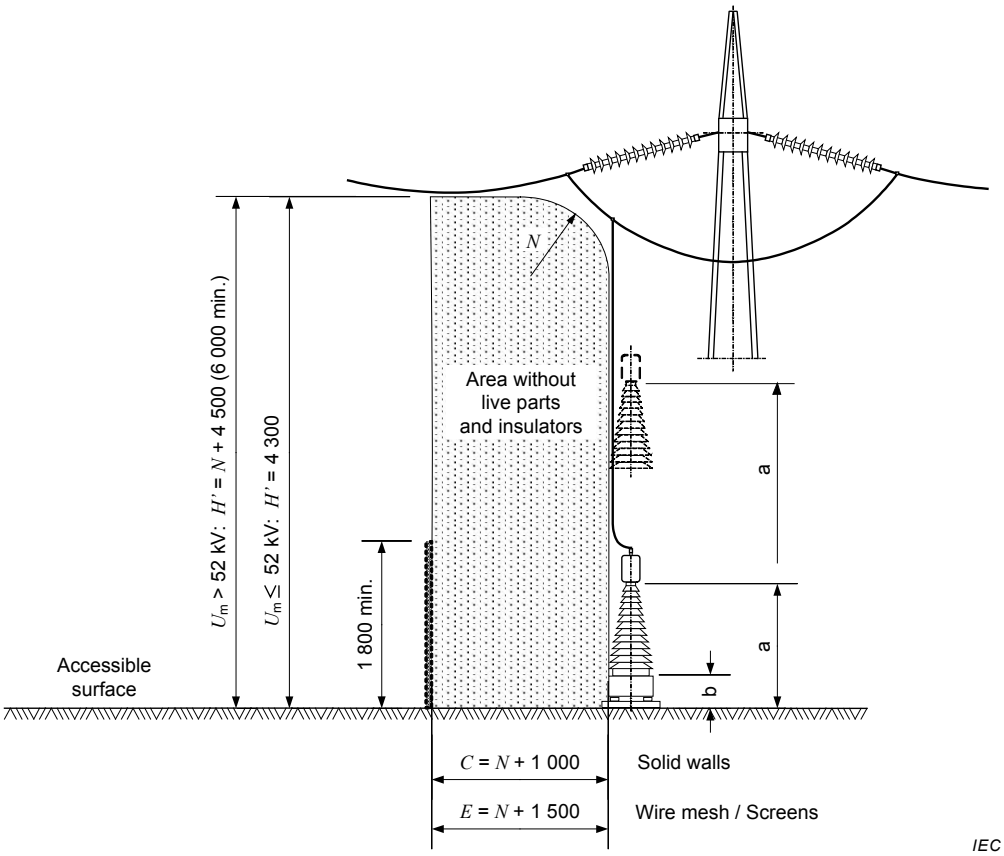
O Obstacle clearance

B Barrier clearance

Figure 1 – Protection against direct contact by protective barriers/protective obstacles within closed electrical operating areas



Dimensions in millimetres



Dimensions in millimetres

Key

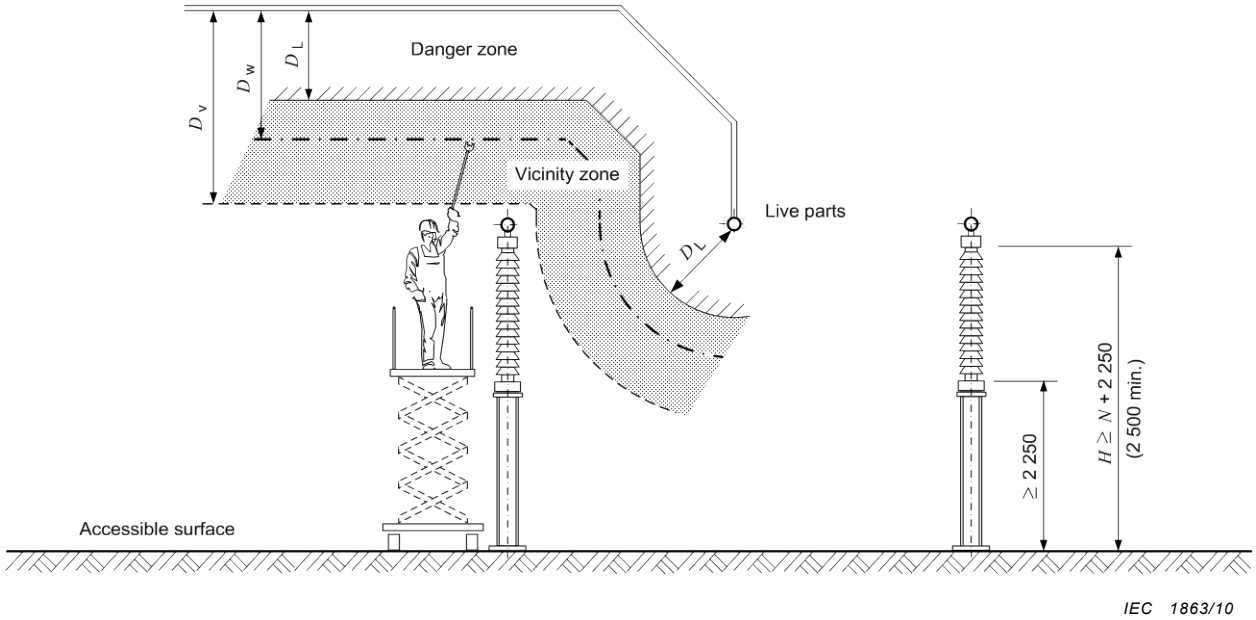
N Minimum clearance

H' Minimum clearance of live parts above accessible surface at the external fence

a If this distance to live parts is less than H, protection by barriers or obstacles shall be provided

b If this distance is smaller than 2 250 mm, protection by barriers or obstacles shall be provided

Figure 2 – Boundary distances and minimum height at the external fence/wall



Dimensions in millimetres

Key

D_L N

D_V N + 1 000 for $U_n \leq$ 110 kV

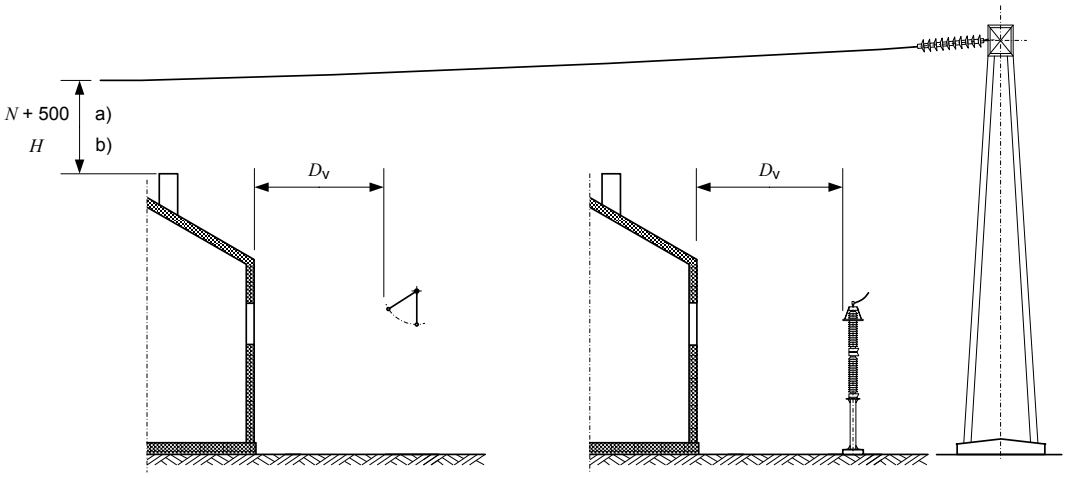
D_V N + 2 000 for $U_n >$ 110 kV

D_W Working clearance according to national standards or regulations

N Minimum clearance

H Minimum height

Figure 3 – Minimum heights and working clearances within closed electrical operating areas



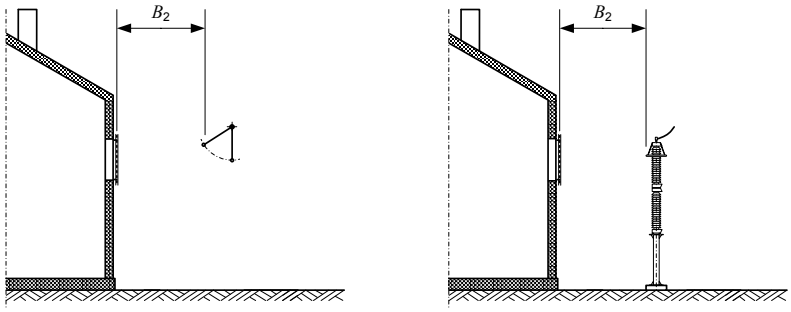
a) The roof cannot be accessed when the conductors are live
b) The roof can be accessed when the conductors are live

N Minimum clearance H Minimum height

$D_V = N + 1\,000$ for $U_n \leq 110$ kV
$D_V = N + 2\,000$ for $U_n > 110$ kV

IEC 1864/10

Figure 4a – Outer wall with unscreened windows

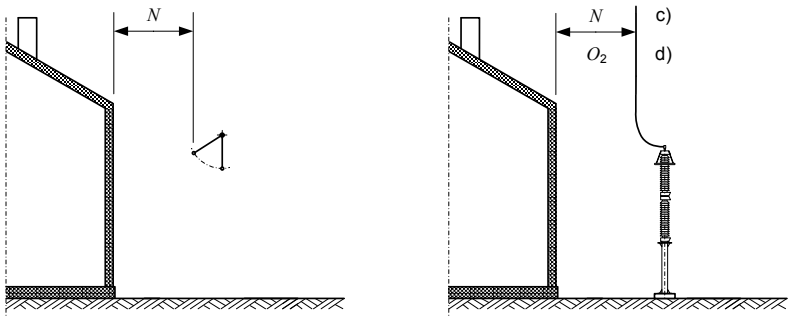


$B_2 \geq N + 100$

N Minimum clearance

IEC 1865/10

Figure 4b – Outer wall with screened windows



N Minimum clearance

c) N if the roof is non-accessible when the conductors are live
d) $O_2 \geq N + 300$ (600 min.) if the roof is accessible when the conductors are live

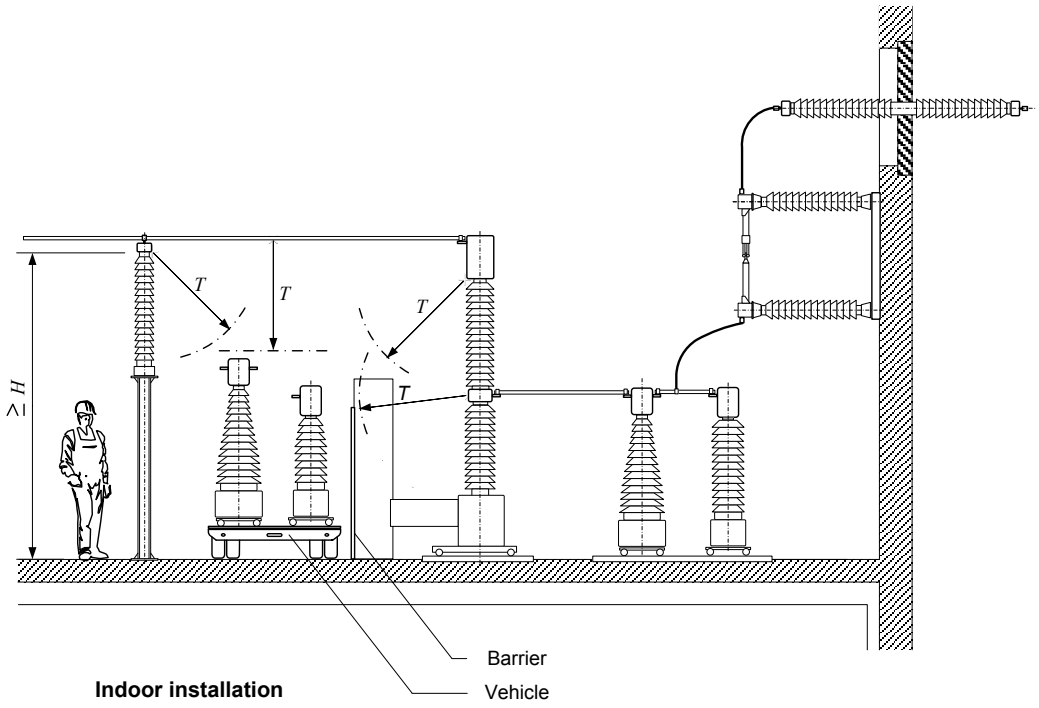
IEC 1866/10

Figure 4c – Outer wall without windows

Dimensions in millimetres

NOTE When work is performed on the roof when the conductors are live, clearances from Figure 3 should be used.

Figure 4 – Approaches with buildings (within closed electrical operating areas)

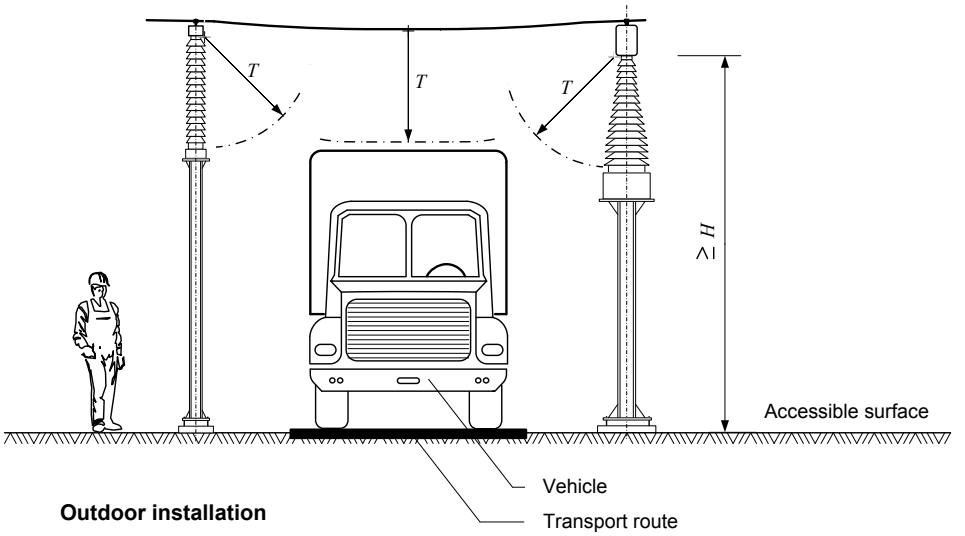


Indoor installation

$T = N + 100$ (500 min.)

N Minimum clearance

IEC 1867/10



Outdoor installation

IEC 1868/10

Dimensions in millimetres

Figure 5 – Minimum approach distance for transport

8 Safety measures

8.1 General

Installations shall be constructed in such a way as to enable the operating and maintenance personnel to circulate and intervene within the framework of their duties and authorizations, according to circumstances, at any point of the installation.

Specific maintenance work, preparation and repair work, which involve working in the vicinity of live parts or actual work on live parts, are carried out observing the rules, procedures and work distances as defined in national standards and regulations.

8.2 Protection against direct contact

Installations shall be constructed so that unintentional touching of live parts or unintentional reaching into a dangerous zone near live parts is prevented.

Protection shall be provided for live parts, parts with functional insulation only and parts which can be considered to carry a dangerous potential.

Examples of such parts are as follows:

– exposed live parts;
– parts of installations where earthed metallic sheaths or conducting screens of cables have been removed;
– cables and accessories without earthed metallic sheaths or earthed conducting elastomeric screens, as well as flexible cables without conducting elastomeric screens;
– terminations and conducting sheathing of cables, if they can carry a dangerous voltage;
– insulating bodies of insulators and other such parts, for example electrical equipment insulated by cast resin, if a dangerous touch voltage can occur;
– frames or cases of capacitors, converters and converter transformers, which can carry a dangerous voltage during normal operation;
– windings of electrical machines, transformers and air-cored reactors.

Protection may be achieved by different means, depending on whether the installation is located in a closed electrical operating area or not.

Information on protection against electric shock is given in IEC 61140.

8.2.1 Measures for protection against direct contact

8.2.1.1 Recognized protection measures

The following types of protection are recognized:

– protection by enclosure;
– protection by barrier;
– protection by obstacle;
– protection by placing out of reach.

8.2.1.2 Design of protective measures

Protective barriers can be solid walls, doors or screens (wire mesh) with a minimum height of 1 800 mm to ensure that no part of the body of a person can reach the dangerous zone near live parts.

Protective obstacles can, for example, be covers, rails, chains and ropes as well as walls, doors and screens which are less than 1 800 mm high and therefore cannot be considered as protective barriers.

Protection by placing out of reach is achieved by placing live parts outside a zone extending from any surface where persons can usually stand or move about, to the limits which a person can reach with a hand in any direction (see Clause 7).

Protective facilities used as a protective measure against direct contact, such as walls, covers, protective obstacles, etc., shall be mechanically robust and securely mounted.

Doors of switchgear rooms or bays used as a part of an enclosure shall be designed so that they can be opened only by using a tool or a key. In areas outside closed electrical operating areas, these doors shall be provided with safety locks.

Movable, conductive protective facilities shall be secured so that when correctly used the relevant protective barrier or protective obstacle clearance is maintained; otherwise they shall be made of insulating material or dry wood. It is permitted that a rail may be removed without the use of a tool. Protective rails shall be rigid.

In areas or rooms accessible to the public, protective facilities shall not be easily removable from outside with normal tools.

8.2.2 Protection requirements

8.2.2.1 Protection outside of closed electrical operating areas

Outside the closed electrical operating areas, only protection by enclosure or protection by placing out of reach is allowed.

When protection by enclosure is used, the minimum degree of protection shall be IP2XC.

NOTE As an exception, ventilation openings may be such that a straight wire cannot intrude into the equipment in such a way that it causes danger by approaching parts needing to be protected from direct contact.

When protection by placing out of reach is used, the vertical clearances between accessible surfaces and the parts to be protected from direct contact shall be in accordance with 7.2.6 or Figure 2.

8.2.2.2 Protection inside closed electrical operating areas

Inside closed electrical operating areas, protection by enclosure, protective barrier, protective obstacle or placing out of reach is allowed.

When protection by enclosure is used, the degree of protection shall meet the requirements of IP2X in minimum. However, special protection measures to meet danger resulting from arc faults may be necessary.

When protection by protective barrier is used, see 7.2.1.

When protection by protective obstacle is used, see 7.2.2 and 7.3.

When protection by placing out of reach is used, see 7.2.4 and 7.2.5.

NOTE For more detailed requirements on external fences, transport routes, crossings and access to buildings, etc., see Clause 7.

8.2.2.3 Protection during normal operation

NOTE The relevant standards for operation of electrical installations should be taken into account.

Protection measures in an installation shall take into account the need for access for purposes of operation and control and maintenance, e.g.:

– control of a circuit-breaker or a disconnector;
– changing a fuse or a lamp;
– adjusting a setting value of a device;
– resetting a relay or an indicator;
– earthing for work;
– erection of a temporary insulating shutter;
– reading the temperature or oil level of a transformer.

In installations with $U_m \leq 52$ kV, where doors or covers have to be opened in order to carry out normal operation or maintenance, it may be necessary to provide fixed non-conductive rails as a warning.

8.3 Means to protect persons in case of indirect contact

Measures to be taken in order to protect persons in case of indirect contact are given in Clause 10.

Information on protection against electric shock is given in IEC 61140.

8.4 Means to protect persons working on electrical installations

Electrical installations shall be constructed and installed to ensure that the measures necessary for the protection of persons working in or on electrical installations can be employed. The relevant standards for operation and maintenance of electrical power installations shall also be taken into account. The working procedures shall be agreed upon between the manufacturer and the user.

NOTE Whilst individual functions are considered in separate subclauses, these functions may be combined in a single item of equipment.

8.4.1 Equipment for isolating installations or apparatus

Equipment shall be provided by means of which the complete installation or sections thereof can be isolated, depending on operating requirements.

This may be achieved by disconnectors or switch disconnectors (see 6.2.1) or by disconnecting part of the installation, for example by removing links or cable loops. In the latter case, see 5.4.1.

Installations or parts of installations which can be energized from several sources shall be arranged so that all sources can be isolated from points of supply from which each section or part thereof can be made live.

If the neutral points of several pieces of equipment are connected to a common neutral bus, it shall be possible to isolate each neutral point individually. This also applies to associated earth fault coils and resistors. The overvoltage protection shall be maintained in operational condition.

Where equipment may be charged at some voltage following disconnection from the installation, for example capacitors, devices shall be provided to discharge the system/equipment.

Isolating gaps may only be bridged by insulators if leakage currents from the terminal on one side to the terminal on the other side are prevented.

8.4.2 Devices to prevent reclosing of isolating devices

Suitable devices shall be provided to render inoperative the actuating force (i.e. spring force, air pressure, electrical energy) or the control of power mechanisms used for the operation of switchgear employed for isolating purposes.

NOTE It may be statutory in certain countries that these devices shall be rendered inoperative by suitable locking facilities.

Where removable parts such as fuses or screw-in circuit breakers are used for complete disconnection and are replaced by screw caps or blank inserts, these caps or inserts shall be such that they can only be removed using ~~an approved~~ a suitable tool.

Manually operated switches shall permit the use of mechanical locking devices in order to prevent reconnection to the system following isolation.

8.4.3 Devices for determining the de-energized state

Devices for determining that the equipment is no longer energized, shall be provided, where required, considering operational requirements. The extent of such provisions - wherever practicable - shall be agreed between the supplier and the user.

All devices supplied shall permit the de-energized state to be checked at all points where the work is to be done that have previously been live, without danger for the operational personnel.

Either fixed equipment (see IEC 62271-206) or portable devices (see the IEC 61243 series) can be used to meet this requirement.

8.4.4 Devices for earthing and short-circuiting

Each part of an installation that can be isolated from the system shall be arranged to enable it to be earthed and short-circuited.

Equipment (for example transformers or capacitors) shall be provided with a means of earthing and short-circuiting adjacent to the equipment. This requirement shall not apply to parts of a system where this is not practicable or is unsuitable (for example transformers or electrical machines with flange-mounted cable sealing ends or with cable connection boxes). In these cases, earthing and short-circuiting shall be effected by the application of circuit main earths at the associated switchgear cubicles or bays on the primary and secondary sides. Normally, it should be possible to earth and short-circuit all sides of a transformer, including neutrals.

The following shall be provided for or supplied as earthing and short-circuiting devices, with the scope being agreed between the supplier and the user:

– earthing switches (preferably fault-making and/or interlocked);
– earthing switch trucks;
– earthing equipment integrated with other switching devices e.g. circuit-breakers;
– free earthing rods and short-circuiting equipment (see IEC 61230);
– guided earthing rods and short-circuiting equipment (see IEC 61219).

For each part of an installation, suitably dimensioned and easily accessible connection points shall be provided on the earthing system and on the live parts for connection of earthing and short-circuiting equipment. Switchgear cubicles or bays shall be designed so that connection of the earthing and short-circuiting equipment by hand to the earth terminal point can be carried out in accordance with the rules for carrying out work in the vicinity of live parts.

When earthing and short-circuiting is achieved by remotely controlled earthing switches, the switch position shall be reliably transmitted to the remote control point.

When earthing is achieved through a load-breaking device having control circuits, all control circuits of the load-breaking device shall be made inoperative following the application of the circuit main earth. Inadvertent re-energization of the control circuits shall be prevented.

8.4.5 Equipment acting as protective barriers against adjacent live parts

All boundary elements such as walls, floors, etc. shall be constructed according to 7.2 or 7.3.

If walls or protective facilities do not exist, the separation to neighbouring bays or sections shall respect the appropriate distances.

If working clearances cannot be maintained, live parts in the vicinity of the working area shall be capable of being covered by insertable insulated partitions or walls in such a way that accidental proximity to these parts by body parts, tools, equipment and materials is prevented.

8.4.5.1 Insertable insulated partitions

Movable screens and insertable insulated partitions shall meet the following requirements:

a) the edges of insulating shutters shall not be located within the danger zone;
b) gaps are permissible outside the danger zone:
   – up to 10 mm wide without limitation,
   – up to 40 mm wide provided the distance from the edge of the shutter to the danger zone is at least 100 mm,
   – up to 100 mm wide in the vicinity of disconnector bases.

Insertable insulated partitions used as protective barriers against live parts shall be part of the equipment or provided separately in accordance with operational requirements by agreement between the supplier and the user.

Insertable insulated partitions shall be capable of being secured so that their position cannot be accidentally altered where this would lead to a hazardous condition.

Insertable insulated partitions used as protective barriers against live parts shall not touch or be in contact with live parts.

It shall be possible to install and remove insertable insulated partitions without persons being required to enter the danger zone.

NOTE This can be achieved by the type of insulating shutters (for example angled plate, associated insulating rods, suitable operating rods) or by the installation (for example guide rails).

8.4.5.2 Insertable partition walls

For installations without permanently installed partition walls, suitable insertable partition walls should be provided to isolate adjacent live cubicles or bays in accordance with the operational requirements. When required, the extent shall be agreed upon between the supplier and the user.

Insertable partition walls which enter the danger zone during installation or removal, or which lie within the danger zone when fitted, shall meet the requirement for mobile insulating plates.

Insertable insulated partition walls used as protective barriers against live parts shall not touch or be in contact with live parts.

8.4.6 Storage of personal protection equipment

If personal protection equipment is to be stored in the installation, a place shall be provided for this purpose where the equipment is protected from humidity, dirt and damage whilst remaining readily accessible to operational personnel.

8.5 Protection from danger resulting from arc fault

Electrical installations shall be designed and installed so that personnel are protected as far as practical from arc faults during operation.

The following list of measures to protect against dangers resulting from arc fault shall serve as a guide in the design and construction of electrical installations. The degree of importance of these measures shall be agreed upon between the supplier and user.

a) Protection against operating error, established, for example, by means of the following:
   - load break switches instead of disconnectors,
   - short-circuit rated fault-making switches,
   - interlocks,
   - non-interchangeable key locks.

b) Operating aisles as short, high and wide as possible (see 7.5).

c) Solid covers as an enclosure or protective barrier instead of perforated covers or wire mesh.

d) Equipment tested to withstand internal arc fault instead of open-type equipment (e.g. IEC 62271-200, IEC 62271-203).

e) Arc products to be directed away from operating personnel, and vented outside the building, if necessary.

f) Use of current-limiting devices.

g) Very short tripping time; achievable by instantaneous relays or by devices sensitive to pressure, light or heat.

h) Operation of the plant from a safe distance.

i) Prevention of re-energization by use of non-resettable devices which detect internal equipment faults, ~~incorporate~~ enable pressure relief and provide an external indication.

8.6 Protection against direct lightning strokes

Different methods of analysis are available. The method to be used shall be agreed upon between the supplier and user.

The user shall select the level of protection to be achieved, depending on the reliability level required, and the protection method to be used.

NOTE 1 For calculation methods, see for example either Annex E or IEEE Guide 998 [28].

Lightning rods and shield wires shall be earthed.

It is not necessary to equip a steel structure with a separate earthing conductor where it provides a suitable path for the lightning current itself.

Shield wires shall be connected to the steel structure or earthing conductor to ensure that the lightning current flows to earth. For buildings and similar structures, see IEC 62305 series.

For associated standards, IEC 62305-4 should be referred to.

NOTE 2 For technical and economic reasons, damage resulting from lightning strokes cannot be fully prevented.

8.7 Protection against fire

8.7.1 General

Relevant national, provincial and local fire protection regulations shall be taken into account in the design of the installation.

NOTE Fire hazard and fire risk of electrical equipment is separated into two categories: fire victim and fire origin. Precautions for each category should be taken into account in the installation requirements.

a) Precautions to fire victim:

   i) space separation from origin of fire;

   ii) flame propagation prevention:

      – physical layout of the substation,

      – liquid containment,

      – fire barriers (e.g. ~~REI fire-resistant materials 60/90~~ fire walls with fire resistance of minimum 60 minutes),

      – extinguishing system;

b) Precautions to fire origin:

   i) electrical protection;

   ii) thermal protection;

   iii) pressure protection;

   iv) ~~fire resistant~~ non-combustible materials.

Care shall be taken that, in the event of fire, the escape and rescue paths and the emergency exits can be used (see 7.1.6).

The user or owner of the installation shall specify any requirement for fire extinguishing equipment.

Automatic devices to protect against equipment burning due to severe overheating, overloading and faults (internal/external) shall be provided, depending on the size and significance of the installation.

Equipment in which there is a potential for sparks, arcing, explosion or high temperature, for example electrical machines, transformers, resistors, switches and fuses, shall not be used in operating areas subject to fire hazard unless the construction of this equipment is such that flammable materials cannot be ignited by them.

If this cannot be ensured, special precautions, for example fire walls, fire-resistant separations, vaults, enclosures and containment, are necessary.

Consideration should be given to separating different sections of switchgear by fire walls. This can be achieved by means of bus ducts which penetrate the fire wall and which connect the sections of the switchgear together.

8.7.2 Transformers, reactors

In the following subclauses, the word 'transformer' represents 'transformers and reactors'.

For the identification of coolant types, see 6.2.2.

IEC 61100 classifies insulating liquids according to fire point and net caloric value (heat of combustion). IEC 60076-11 classifies dry-type transformers in terms of their behaviour when exposed to fire.

The fire hazard associated with transformers of outdoor and indoor installations is dependent on the rating of the equipment, the volume and type of insulating mediums, the type and proximity and exposure of nearby equipment and structures. The use of one or more recognized safeguard measures shall be used in accordance with the evaluation of the risk.

NOTE For definition of risk, see ISO/IEC Guide 51.

Common sumps or catchment tanks, if required, for several transformers shall be arranged so that a fire in one transformer cannot spread to another.

The same applies to individual sumps which are connected to the catchment tanks of other transformers; ~~gravel~~ crushed stone layers, fire protection gratings or pipes filled with fluid can, for example, be used for this purpose. Arrangements which tend to minimize the fire hazard of the escaped fluid are preferred.

8.7.2.1 Outdoor installations

The layout of an outdoor installation shall be such that burning of a transformer with a liquid volume of more than 1 000 l will not cause a fire hazard to other transformers or objects, with the exception of those directly associated with the transformer. For this purpose, adequate clearances, G_1, G_2, shall be necessary. Guide values are given in Table 3. Where transformers with a liquid volume below 1 000 l are installed near ~~combustible~~ walls of combustible material, special fire precautions may be necessary, depending on the nature and the use of the building.

If automatically activated fire extinguishing equipment is installed, the clearance G_1/G_2 can be reduced.

The reduction of distances G_1/G_2 shall be agreed upon between the user and the supplier.

If it is not possible to allow for adequate clearance as indicated in Table 3, fire-resistant separating walls with the following dimensions shall be provided:

a) between transformers (see Figure 6) separating walls. For example EI 60 ~~in accordance with the *Official Journal of the European Community*, No. C 62/23~~:
   - height: top of the expansion chamber (if any), otherwise the top of the transformer tank;
   - length: width or length of the sump (in the case of a dry-type transformer, the width or length of the transformer, depending upon the direction of the transformer);

b) between transformers and buildings separating walls. For example EI 60; if additional fire separating wall is not provided, fire rating of the building wall should be increased, for example REI 90 (see Figure 7) ~~in accordance with the *Official Journal of the European Community* C 62/23~~.

NOTE 1 REI represents the bearing system (wall) whereas EI represents the non-load bearing system (wall) where R is the load bearing capacity, E is the fire integrity, I is the thermal insulation and 60/90 refers to fire resistance duration in minutes.

NOTE 2 Definitions of fire resistance are given in EN 13501-2[37].

Table 3 – Guide values for outdoor transformer clearances

Transformer type	Liquid volume	Clearance G_1 to other transformers or building surface of non-combustible material	Clearance G_2 to building surface of combustible material
	l	m	m
Oil insulated transformers (O)	1 000 <....< 2 000	3	7,5
	2 000 ≤....< 20 000	5	10
	20 000 ≤....< 45 000	10	20
	≥ 45 000	15	30
Less flammable liquid insulated transformers (K) without enhanced protection	1 000 <...< 3 800	1,5	7,5
	≥ 3 800	4,5	15

Less flammable liquid insulated transformers (K) with enhanced protection	Clearance G_1 to building surface or adjacent transformers	
	Horizontal m	**Vertical** m
	0,9	1,5

Dry-type transformers (A)	Fire behaviour class	Clearance G_1 to building surface or adjacent transformers	
		Horizontal m	**Vertical** m
	F0	1,5	3,0
	F1	None	None

NOTE 1 Enhanced protection means

– tank rupture strength,

– tank pressure relief,

– low-current fault protection,

– high-current fault protection.

For an example of enhanced protection, see Factory Mutual Global standard 3990 [33], or equivalent.

NOTE 2 Sufficient space should be allowed for periodic cleaning of resin-encapsulated transformer windings, in order to prevent possible electrical faults and fire hazard caused by deposited atmospheric pollution.

NOTE 3 Non-combustible materials may be chosen in accordance to EN 13501-1[36].

8.7.2.2 Indoor installation in closed electrical operating areas

Minimum requirements for the installation of indoor transformers are given in Table 4.

Table 4 – Minimum requirements for the installation of indoor transformers

Transformer type	Class	Safeguards
Oil insulated transformers (O)	Liquid volume	
	≤ 1 000 l	EI 60 respectively REI 60
	> 1 000 l	EI 90 respectively REI 90 **or** EI 60 respectively REI 60 and automatic sprinkler protection
Less flammable liquid insulated transformers (K)	Nominal power/max. voltage	
Without enhanced protection	(no restriction)	EI 60 respectively REI 60 **or** automatic sprinkler protection
With enhanced protection	≤ 10 MVA and U_m ≤ 38 kV	EI 60 respectively REI 60 **or** separation distances 1,5 m horizontally and 3,0 m vertically
Dry-type transformer (A)	Fire behaviour class	
	F0	EI 60 respectively REI 60 **or** separation distances 0,9 m horizontally and 1,5 m vertically
	F1	Non combustible walls

NOTE 1 REI represents the bearing system (wall) whereas EI represents the non-load bearing system (wall) where R is the load bearing capacity, E is the fire integrity, I is the thermal insulation and 60/90 refers to ~~time~~ fire resistance duration in minutes.

NOTE 2 Definitions of fire resistance are given in EN 13501-2[37].

NOTE ~~2~~3 Enhanced protection means

– tank rupture strength,

– tank pressure relief,

– low-current fault protection,

– high-current fault protection.

For an example of enhanced protection, see Factory Mutual Global standard 3990 [33], or equivalent.

NOTE ~~3~~4 Sufficient space should be allowed for periodic cleaning of resin-encapsulated transformer windings, in order to prevent possible electrical faults and fire hazard caused by deposited atmospheric pollution.

Doors shall have a fire resistance of at least 60 min. Doors which open to the outside are adequate if they are of low flammability material. Ventilation openings necessary for the operation of the transformers are permitted in the doors or in adjacent walls. When designing the openings, the possible escape of hot gases shall be considered.

8.7.2.3 Indoor installations in industrial buildings

For all transformers in industrial buildings, fast-acting protective devices which provide immediate automatic interruption in the event of failure are necessary.

Transformers with coolant type O require the same provisions as in 8.7.2.2.

For all other liquid-immersed transformers, no special arrangements in respect of fire protection are required, except for the provisions for liquid retention in case of leakage and the provision of portable fire extinguishing apparatus suitable for electrical equipment.

Dry-type transformers (A) require the selection of the correct fire behaviour class depending on the activity of the industry and on the material present in the surroundings. Fire extinguishing provisions are advisable, particularly for class F0.

NOTE For all transformers in industrial buildings, additional fire precautions may be necessary, depending on the nature and use of the building.

8.7.2.4 Indoor installations in buildings which are permanently occupied by persons

In high-voltage installations, located in public or residential buildings, special conditions shall be observed in accordance with existing standards or national regulations.

8.7.2.5 Fire in the vicinity of transformers

If there is an exceptional risk of the transformer being exposed to external fire, consideration shall be given to

– fire-resistant separating walls;
– gas-tight vessels capable of withstanding the internal pressure generated;
– controlled release of the hot liquid;
– fire extinguishing systems.

8.7.3 Cables

The danger of the spread of fire and its consequences shall be reduced, as far as possible, by selecting suitable cables and by the method of installation.

The cables may be assessed by reference to the following categories:

– cables without particular fire performance characteristics;
– cables (single) with resistance to flame propagation (IEC 60332 series);
– cables (bunched) with resistance to flame propagation (IEC 60332 series);
– cables with low emission of smoke (IEC 61034-1);
– cables with low emission of acidic and corrosive gases (IEC 60754-1 and IEC 60754-2);
– cables with fire-resisting characteristics (IEC 60331-21 or IEC 60331-1).

Cables in trenches and buildings shall be laid in such a way that the regulations regarding fire safety of the building are not adversely affected. For example, to avoid fire propagation, holes through which the cables go from one room to another shall be sealed with suitable material.

A physical separation or different routing of power circuits from the control circuits for high-voltage equipment is recommended if it is necessary to preserve the integrity of the latter as long as possible following damage to the power circuits.

Where necessary, a fire alarm and fire extinguishing systems shall be installed in cable tunnels and in cable racks in the basement of control buildings.

8.7.4 Other equipment with flammable liquid

For all equipment, such as switchgear which contains more than 100 l of flammable liquid in each separate compartment, special fire precautions as specified for transformers may be necessary, depending on the nature and use of the installation and its location.

8.8 Protection against leakage of insulating liquid and SF_6

8.8.1 Insulating liquid leakage and subsoil water protection

8.8.1.1 General

Measures shall be taken to contain any leakage from liquid-immersed equipment so as to prevent environmental damage. National and/or local regulations may specify the minimum quantity of liquid contained in an equipment for which containment is required. As a guideline,

where no national and/or local regulations exist, containment should be provided around liquid-immersed equipment containing more than 1 000 l (according to IEEE 980: 2 500 l).

NOTE In all cases, local regulations should be taken into account and approvals obtained when required.

8.8.1.2 Containment for indoor equipment

In indoor installations, spills of insulating liquid may be contained by providing impermeable floors with thresholds around the area where the equipment is located or by collecting the spilled liquid in a designated holding area in the building (see Figure 11).

The volume of the insulating liquid in the equipment as well as any volume of water discharging from a fire protection system shall be considered when selecting height of threshold or volume of the holding area.

8.8.1.3 Containment for outdoor equipment

The quantity of insulating liquid in equipment, the volume of water from rain and fire protection systems, the proximity to water courses and soil conditions shall be considered in the selection of a containment system.

NOTE 1 Containments (sumps) around liquid immersed equipment and/or holding tanks (catchment tanks) are extensively used to prevent escape into the environment of insulating liquid from equipment.

Containments and holding tanks, where provided, may be designed and arranged as follows:

– tanks;
– sump with integrated catchment tank for the entire quantity of fluid (Figure 8);
– sump with separate catchment tank. Where there are several sumps, the drain pipes may lead to a common catchment tank; this common catchment tank shall then be capable of holding the fluids of the largest transformer (Figure 9);
– sump with integrated common catchment tank for several transformers, capable of holding the fluids of the largest transformer (Figure 10).

The walls and the associated pipings of sumps and catchment tanks shall be impermeable to liquid.

The capacity of the sumps/catchment tanks for insulating and cooling fluids shall not be unduly reduced by water flowing in. It shall be possible to drain or to draw off the water.

A simple device indicating the level of liquid is recommended.

Attention shall be paid to the danger of frost.

The following additional measures shall be taken for protection of waterways and of ground water:

– the egress of insulating and cooling fluid from the sump/tank/floor arrangement shall be prevented (for exceptions, see 8.8.1.1);
– drained water should pass through devices for separating the fluids; for this purpose, their specific weights shall be taken into account.

For outdoor installations, it is recommended that the length and width of the sump be equal to the length and width of the transformer plus 20 % of the distance between the highest point of the transformer (including the conservator) and the upper level of the containment on each side.

~~NOTE 2 For outdoor installations, CIGRE Report 23-07 [30] recommends that the length and width of the sump is equal to the length and the width of the transformers plus 20 % of the transformer's height (including the conservator) on each side. IEEE 980 recommends that spill containment extends a minimum 1 500 mm beyond any liquid-filled part of the equipment.~~

NOTE ~~32~~ ~~Examples for the automatic draining of water and separating of liquids is given in CIGRE Report 23-07 and~~ IEEE 980 recommends that the spill containment extends a minimum 1 500 mm beyond any liquid-filled part of the equipment.

State and regional laws and regulations shall be taken into account.

8.8.2 SF_6 leakage

Recommendations for use and handling of SF_6 gas are given in IEC/TR 62271-303.

To cover the unlikely event of an abnormal leakage, ventilation shall be provided in the switchgear room and in other accessible locations where the accumulation of gas may present a hazard. In case of outdoor installation, no special precautions are needed.

In rooms with SF_6 installations, which are above ground, natural venting is sufficient~~,~~ if the gas volume of the largest compartment at atmospheric pressure does not exceed 10 % of the volume of the accessible switchgear room. If this demand cannot be fulfilled, mechanical ventilation shall be installed.

In rooms with SF_6 installations which are below ground on all sides, mechanical ventilation shall be provided if gas quantities which pose an intolerable risk to the health and safety of personnel (see note below) are capable of collecting in terms of gas quantity versus size of the room.

Chambers, ducts, pits, shafts, etc., situated below SF_6 installation rooms and connected to them, shall have the possibility of being ventilated.

To guarantee that no thermal decomposition of SF_6 present in the atmosphere can occur the following provisions shall be made:

- no parts of any equipment installed in the switchgear room which are in contact with air shall exceed a temperature of 200 °C;
- when filling of equipment is carried out during erection on site (not sealed systems) measures should be taken to prevent smoking, open fire and welding in the working areas.

NOTE For maximum SF_6 concentration, national regulations should be considered.

8.8.3 Failure with loss of SF_6 and its decomposition products

Recommendations for use and handling of SF_6 gas are given in IEC/TR 62771-303.

NOTE Guidance has been issued by CIGRE 23-04 [29].

8.9 Identification and marking

8.9.1 General

Clear identification and unambiguous marking are required to avoid incorrect operation, human error, accidents, etc. while operation and maintenance are carried out (see also 7.1.7).

Signs, boards and notices shall be made of durable and non-corrosive material and printed with indelible characters.

The operational state of switchgear and controlgear shall be clearly shown by indicators except when the main contacts can clearly be viewed by the operator.

Cable terminations and components shall be identified. Relevant details making identification possible in accordance with a wiring list or diagram shall be provided.

8.9.2 Information plates and warning plates

In closed electrical operating areas and in industrial buildings, all electrical equipment rooms shall be provided, on the outside of the room and on each access door, with necessary information identifying the room and pointing out any hazards.

The colours and contrasting colours shall comply with IEC standards or national regulations.

8.9.3 Electrical hazard warning

All access doors to closed electrical operating areas, all sides of outer perimeter fences and masts, poles and towers with a transformer or switching device shall be provided with a warning sign.

The signs shall comply with IEC standards or national regulations.

8.9.4 Installations with incorporated capacitors

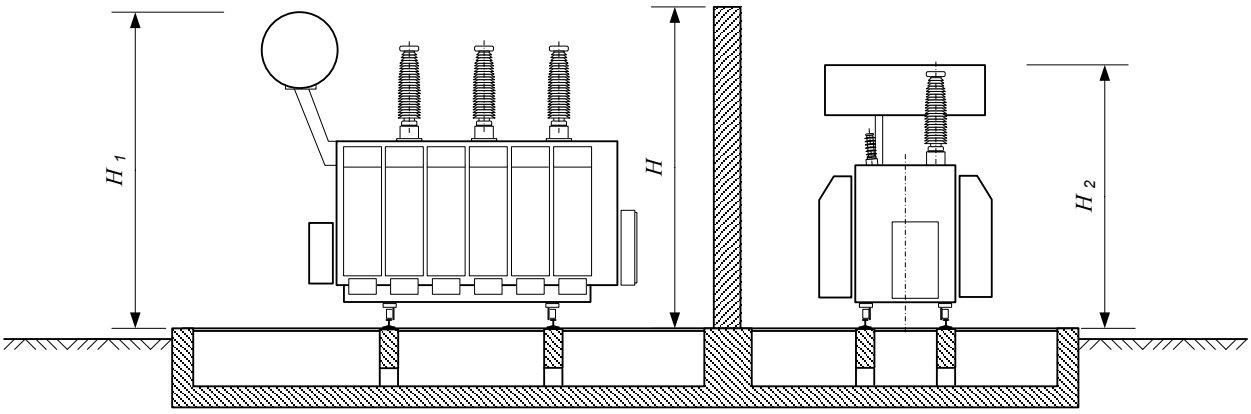
The capacitors shall be provided with a warning label indicating the discharge time.

8.9.5 Emergency signs for emergency exits

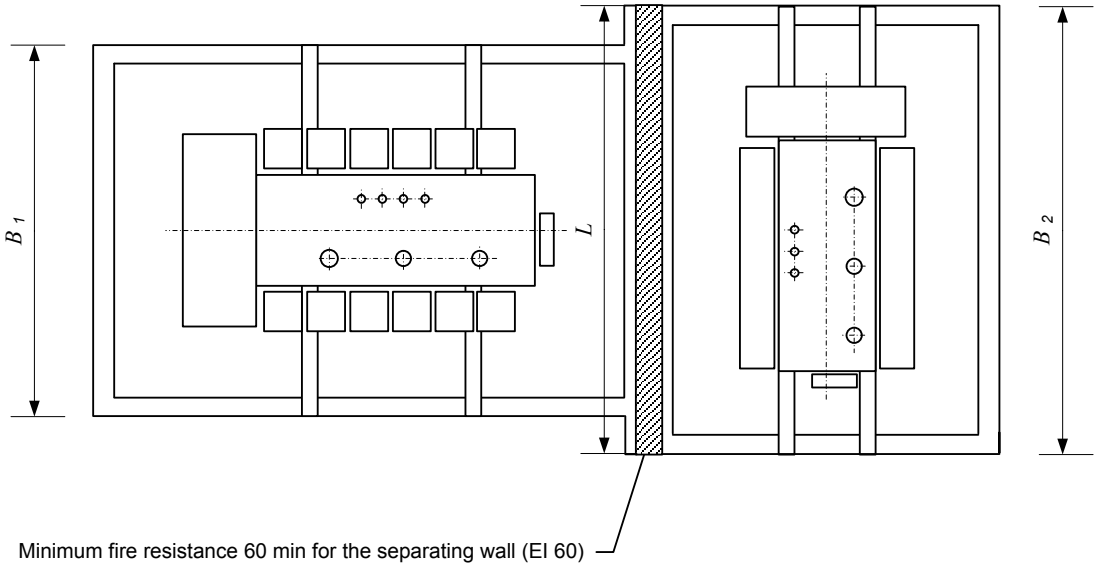
Emergency exits shall be indicated by the appropriate safety warning sign. The signs shall comply with IEC standards or national regulations.

8.9.6 Cable identification marks

The position where cables enter buildings should be identified. Identification marks shall not be placed on removable covers or doors that could be interchanged.

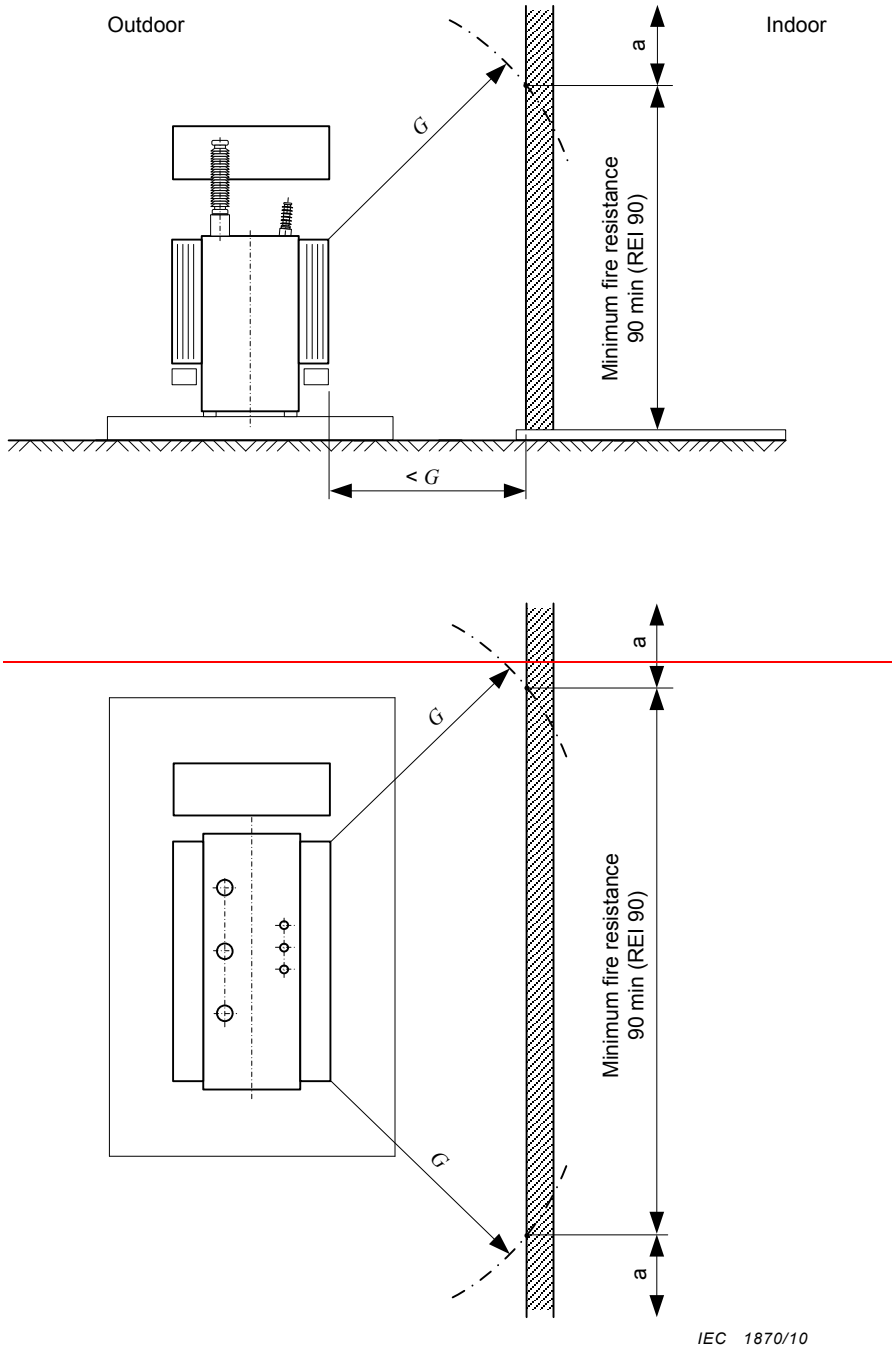


$H \geq H_1$ (with $H_1 > H_2$)
$L \geq B_2$ (with $B_2 > B_1$)



IEC 1869/10

Figure 6 – Separating walls between transformers


Outdoor
Indoor
a
G
Minimum fire resistance
90 min (REI 90)
< G
a
G
Minimum fire resistance
90 min (REI 90)
G
a
IEC 1870/10

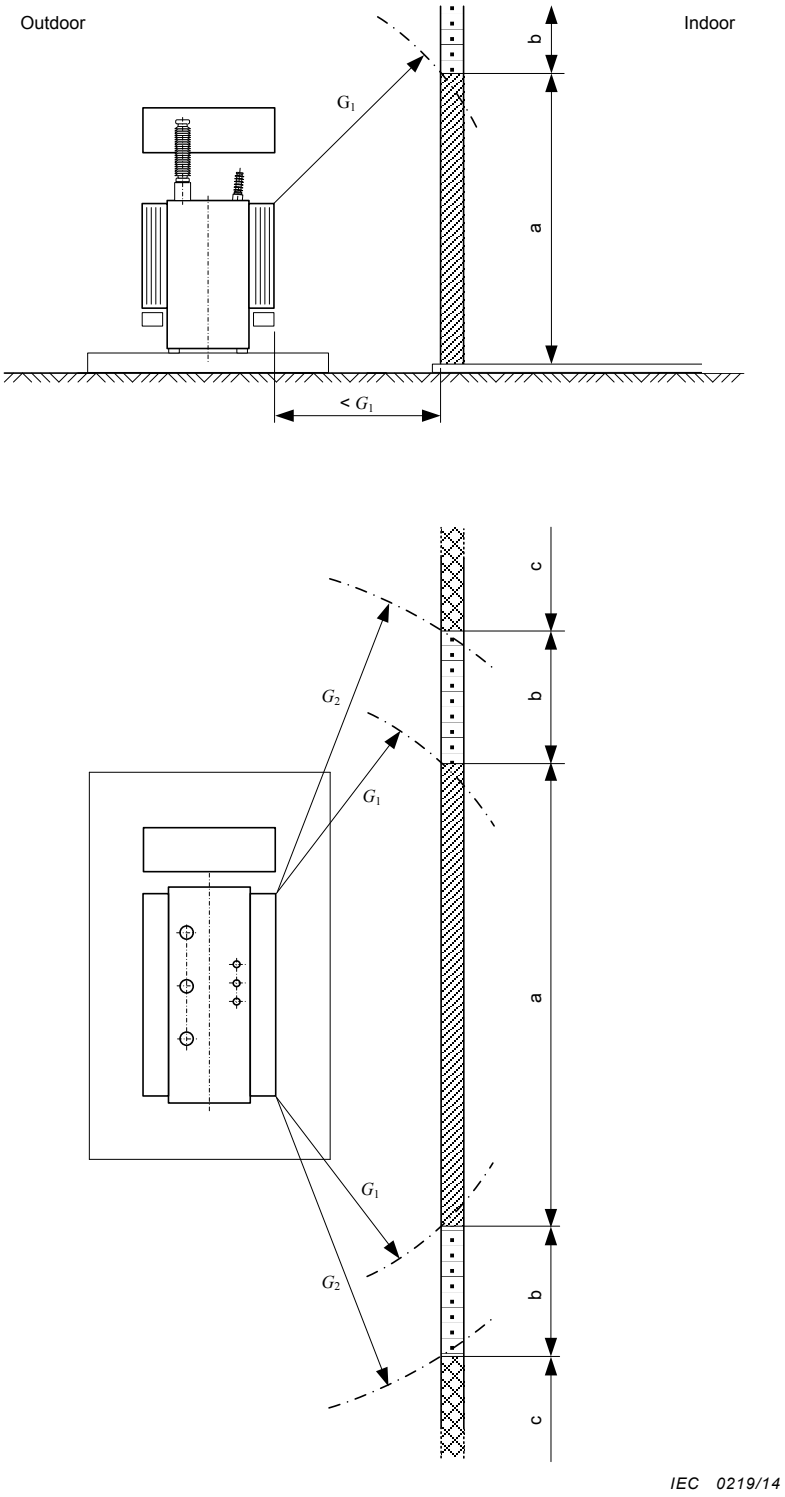


Figure 7a) Fire protection between transformer and building surface of non-combustible material

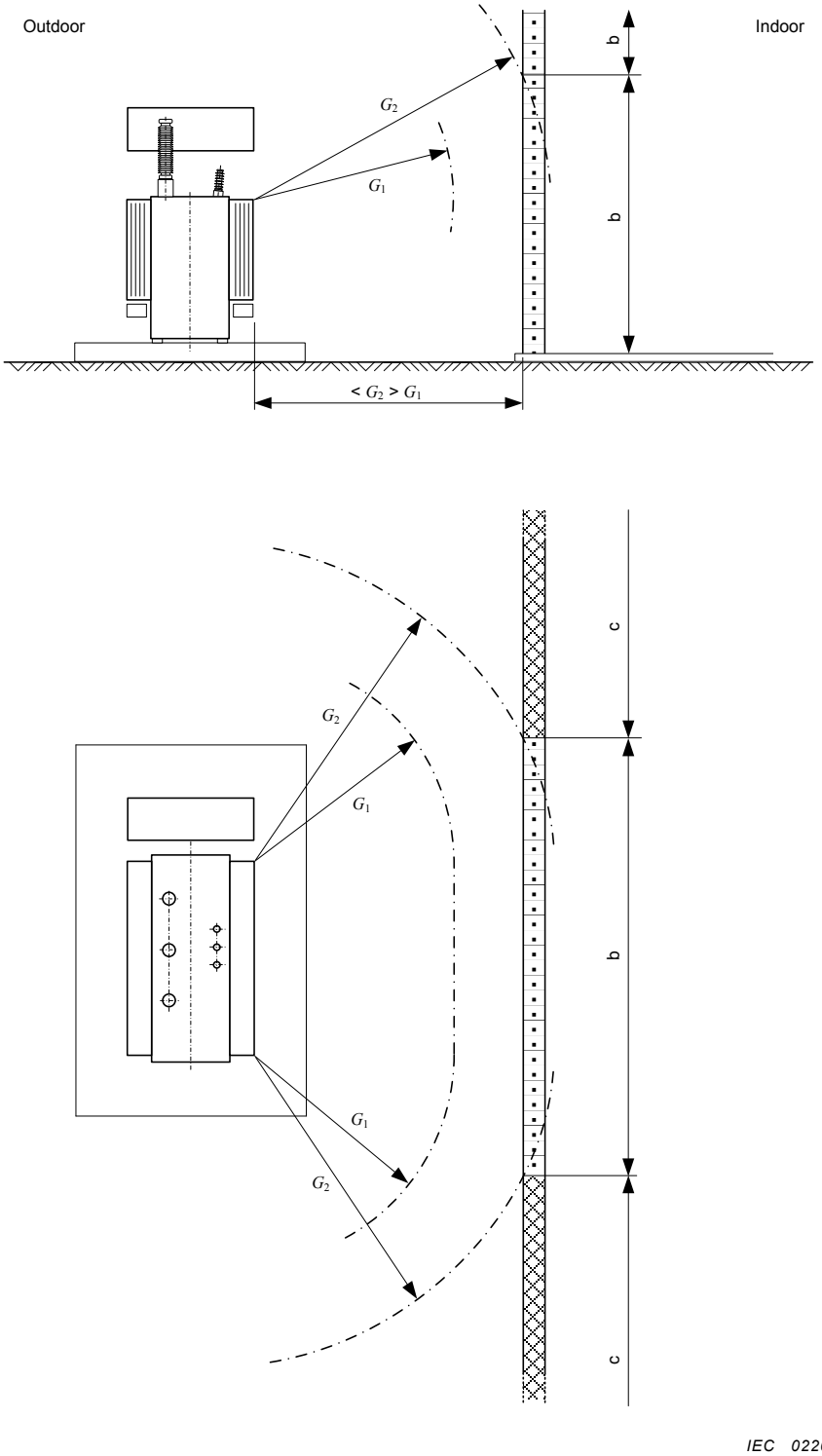


Figure 7b) Fire protection between transformer and building surface of combustible material

Key

For Clearances G_1 and G_2, see Table 3

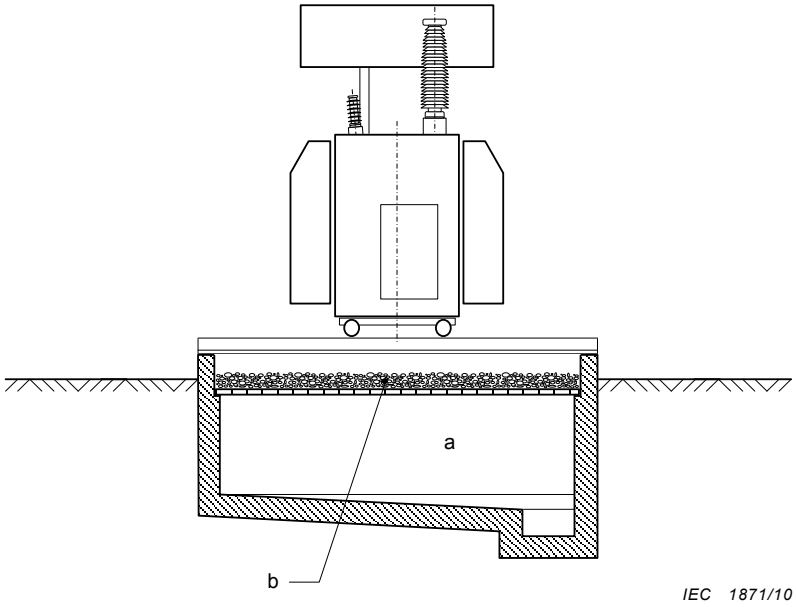
Sector a The wall in this area shall be designed ~~to avoid a spread of~~ with a minimum fire resistance of 90 min (REI 90)

Sector b The wall in this area shall be designed with non combustible materials

Sector c No fire protection requirements

NOTE Due to the risk of vertical fire spread sector c applies only in the horizontal direction.

Figure 7 – Fire protection between transformer and building



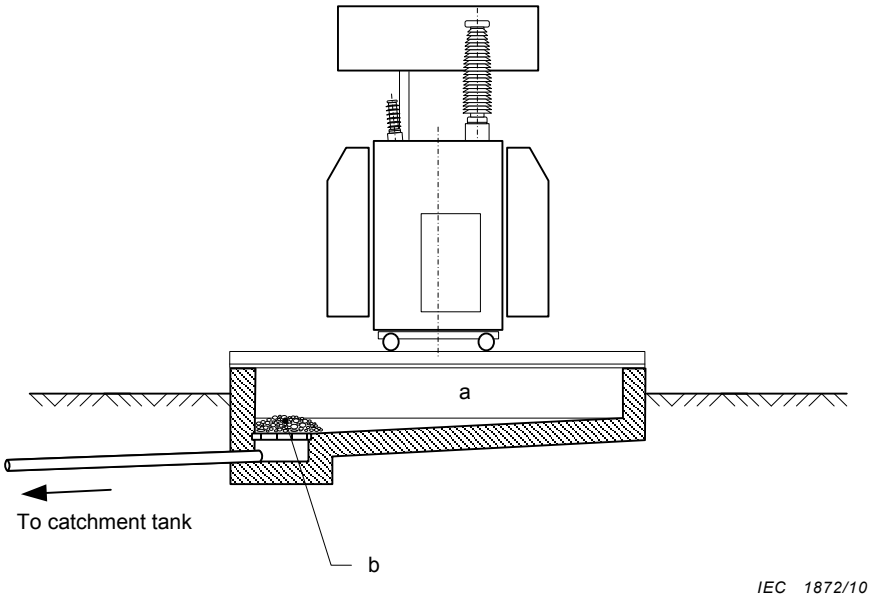
Key

a Containment: the entire quantity of fluid of the transformer plus rain water

b ~~Gravel layer for fire protection~~ For information concerning fire protection gratings or fire blocking outlets, see 8.7.2

NOTE In addition, the water from the fire-extinguishing installation (if any) should be considered.

Figure 8 – Sump with integrated catchment tank

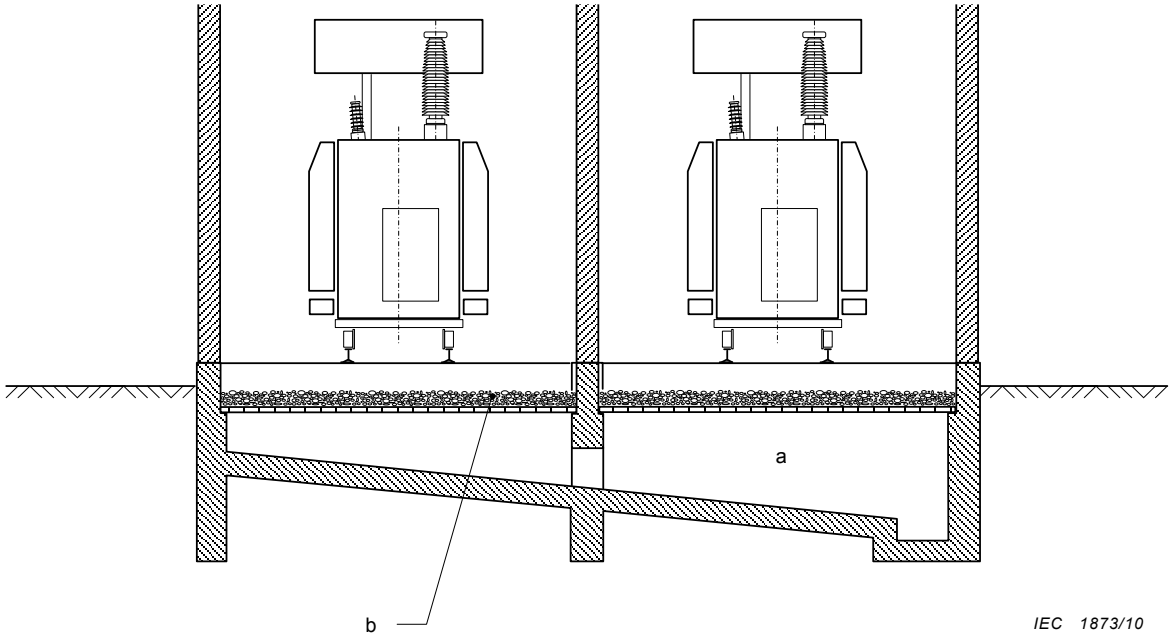


Key

a Containment: minimum 20 % of the fluid from the transformer

b ~~Gravel layer for fire protection~~ For information concerning fire protection gratings or fire blocking outlets, see 8.7.2

Figure 9 – Sump with separate catchment tank



Key

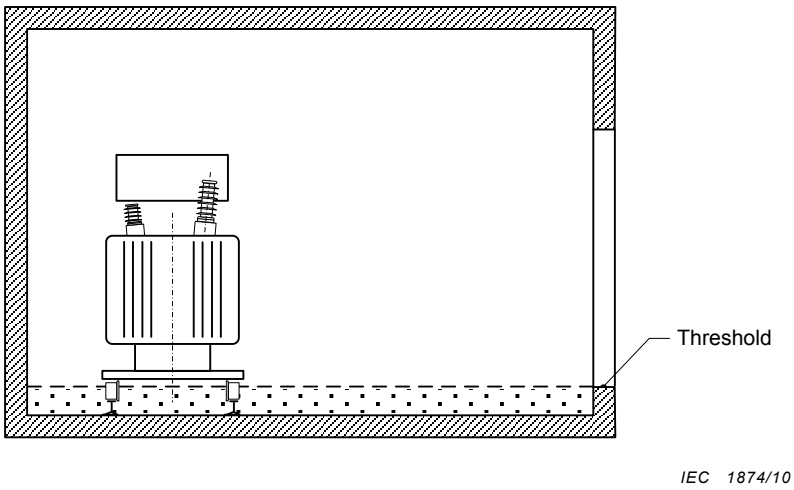
a Containment outdoor: the entire quantity of fluid of the largest transformer plus rain water

Containment indoor: the entire quantity of fluid of the largest transformer

b ~~Gravel layer for fire protection~~ For information concerning fire protection gratings or fire blocking outlets, see 8.7.2

NOTE In addition, the water from the fire-extinguishing installation (if any) should be considered.

Figure 10 – Sump with integrated common catchment tank



NOTE The dotted area denotes the volume of the entire quantity of insulating fluid of the transformer spilled on the floor.

Figure 11 – Example for small transformers without gravel layer and catchment tank

9 Protection, control and auxiliary systems

9.1 Monitoring and control systems

Monitoring, protection, regulating and control devices shall be provided, as necessary, for the correct and safe functioning of the equipment.

Automatic devices, designed to offer selectivity and quick operation, shall provide protection against the effects of unacceptable overload and internal and external faults appropriate to the size and significance of installation.

Consideration shall be given for protection against the following effects:

– overcurrent, short-circuit and earth fault;
– overload and thermal effect;
– overvoltage;
– undervoltage;
– underfrequency.

Protection coordination studies shall be conducted as agreed between the user and supplier in order to determine the setting of protective devices. Back-up protection shall be considered for short-circuit protection and also for earth fault protection when clearing of earth faults is required.

Low-frequency conditions generally indicate power system problems. For installations supplied by a power system, low-frequency disconnection devices may be required in accordance with local regulations or power system requirements. For installations having their own independent power supply, consideration should be given to implementing load shedding to prevent total loss of power during disturbances.

Investigations shall be performed to determine possible overvoltages during operating conditions. Protection shall be installed where overvoltages may exceed tolerance limits of the installed equipment.

The effects of undervoltages on the operation of electrical equipment shall be considered. Devices to detect undervoltages shall be provided where necessary in order to initiate automatic transfers to an alternative supply, or to disconnect the equipment to prevent incorrect operation or damage from occurring.

Equipment shall comply with the severity class (see IEC 60255 series) corresponding to the part of the installation in which it is located.

Facilities shall be provided for isolating the control circuit of each primary switching equipment or each switchgear bay in order to allow maintenance of high-voltage equipment to be performed safely.

Provision shall be made to allow for repair, maintenance, and/or testing to be carried out on protection and control devices without any danger to personnel or the equipment.

Control circuits and signalling circuits shall, preferably, be functionally separated. Tripping signals shall be displayed on the protection panel if it exists.

Alarm and fault-indicating equipment shall clearly indicate danger and fault conditions; several signals can be combined as a common signal to be transmitted to a remote control point.

The control equipment and system, including cables and cords, shall be designed and installed to minimize the possibility of damage to the connected equipment due to electromagnetic interference. Basic rules are given in 9.6.

The control equipment and system, including cables and cords, shall be designed and installed in such a way that they minimize the danger from operating failure, inadvertent operation or incorrect information. In meeting this requirement, influences such as voltage dips, supply failure, insulation faults and electromagnetic interference effects shall be taken into account.

The actuating elements for the control of a switchgear shall be designed and installed in such a way that accidental actuation is avoided.

Where a remote control is available, local/remote control selection shall be provided at the local operating position (i.e. at or in the close vicinity of the switches).

The control circuit of switching devices operated remotely or automatically shall be provided with suitable means near the device to prevent accidental operation during planned outages.

When required, the monitoring and control system shall implement load shedding, emergency shut down, automatic transfer and network reconfiguration, motor re-acceleration and re-starting, etc. in order to maintain safe operating conditions during electrical system disturbances.

For safety reasons, it is recommended that hard-wired interfaces to industrial process control equipment be designed such that maintenance of the process control circuits can be carried out without accessing high-voltage equipment, for example by using interposing relays installed in a separate cubicle.

9.2 DC and AC supply circuits

9.2.1 General

Auxiliary power supply systems shall be designed for the permitted voltage fluctuation range and suitable power capacity which is required by the equipment for control and auxiliary systems.

Low-voltage a.c. and d.c. systems shall be designed in accordance with the IEC 60364 series.

Auxiliary switchboards shall be provided to separate and protect the various auxiliary circuits.

A voltage loss or failure in the supply circuit should initiate a signal to a control location.

Power supply systems may be categorized into essential and non-essential groups. Essential supplies should be continuously available without any interruption, whereas non-essential ones may be allowed to be subject to interruptions.

9.2.2 AC supply

For supplies belonging to the essential group, such as the supplies to a computerized control system, or the supplies to any equipment whose interruption might cause a hazardous condition after a transient loss of power, the provision of a suitable UPS (uninterruptible power supply) is recommended.

Some equipment (e.g. SF_6-breaker heaters) may require the provision of changeover power supplies.

9.2.3 DC supply

DC supply units shall be capable of supplying power to all permanent d.c. loads and to the loads associated with essential operations. This may be achieved by choosing an appropriate number of independent units of sufficient capacities.

It is recommended that d.c. supply units such as batteries and chargers be provided with instruments for monitoring voltage and current.

DC batteries shall be sized to provide power for operation of an electrical installation during total loss of a.c. station services. The most probable duration of a.c. station services loss shall be evaluated to allow proper sizing and selection of d.c. batteries.

Sizing of batteries shall be based on worst case scenarios that might cause a total loss of a.c. station services (i.e. total blackout, fault on a major bus in the installation, etc.). As a minimum, the d.c. batteries shall have enough capacity to trip breakers and switches at the beginning of the discharge period, to supply power to the continuous d.c. load and to close the elements of the installation that will restore a.c. services.

Battery banks with exposed live parts shall be kept in a room or cubicle accessible only to authorized personnel.

Battery rooms or cubicles shall be dry and adequately ventilated to limit hydrogen accumulation. Allowable hydrogen levels and recommended number of air changes shall conform to national regulations.

An easy means of escape from battery rooms shall be provided. Eyewash stations or personal protective equipment shall be provided, preferably located outside the battery room and close to the battery room door.

Battery banks shall preferably be isolated from control rooms to prevent the spread of fumes and to prevent accidental contact.

Where the risk of explosion cannot be avoided, explosion-protected equipment shall be used (see IEC 60079-0).

The risk of explosion due to combustion of gas mixtures in the presence of an open flame or glowing parts shall be indicated by means of corrosion-resistant, legible signs of suitable size.

Notwithstanding the ventilation provided, rooms containing open type lead batteries shall be considered as locations with corrosive environments. Walls, ceilings and floors shall meet the requirements for protection against corrosion and gaseous products. Means shall be provided to prevent corrosive substances from entering any drainage systems.

9.3 Compressed air systems

Compressed air systems shall be designed to comply with the appropriate legislative rules regarding pressure vessels and pressurized systems.

Instruments and alarms shall be provided to ensure safe and reliable operation of the compressed air system.

The compressed air system shall be capable of providing air of relative humidity appropriate to the type and operating pressure of the equipment to be supplied under all environmental conditions. Where necessary drying equipment shall be provided.

Compressed air systems shall be designed so that water can be drained from all receivers or other points where it may collect during operation.

The compressed air system shall be designed to operate at its maximum and minimum capacity over the full range of environmental conditions to be expected for the associated switchgear and/or system. Adequate compressor cooling shall be provided as well as suitable protection to allow intermittent operation under freezing conditions.

Pressure vessels and pipelines shall be protected against corrosion internally and externally.

The function of various components of the compressed air system shall be clearly indicated on the equipment. Different pressures shall be identified on pipework, vessels and diagrams by a method acceptable to the purchaser.

The compressed air system shall be provided with sufficient points of isolation and drainage to allow sectionalization for maintenance in accordance with the operating and safety rules of the user.

Pipes which are permanently under pressure shall be protected against damage due to direct arcing.

All controls of the compressed air system which have to be used during operation shall be arranged so that they are safely accessible.

9.4 SF_6 gas handling plants

Where gas has to be handled and retrieved, a gas service unit shall be provided to transfer gas to and from gas-filled equipment in order to permit maintenance on the primary equipment. This gas service unit shall be capable of evacuating and storing the largest quantity of gas specified and of evacuating the largest volume specified to the vacuum level and refilling to the highest filling pressure specified by the manufacturer. The design and capacity of the gas service unit shall be determined in agreement between supplier and user.

The gas service unit shall also be capable of extracting air at atmospheric pressure from the largest volume specified to the vacuum level specified by the manufacturer. The gas service unit shall be capable of returning gas to the equipment and recycling used gas through filters.

NOTE Guidance on handling of plants containing SF_6 is given in IEC 60480 and IEC 62271-303.

9.5 Hydrogen handling plants

The hydrogen-cooled generator, or synchronous condenser and its hydrogen cooling system shall be installed in the following way.

– The structure of the generator or synchronous condenser and its hydrogen cooling system shall be leak-tight and capable of preventing the mixture of hydrogen and air.
– The generator, synchronous condenser, hydrogen pipes, valves and other fittings in the hydrogen system shall be capable of withstanding the explosion of hydrogen at atmospheric pressure.
– The generator plant shall be provided with a device through which hydrogen gas can be purged to the open air safely when hydrogen leaks out the generator shaft seal.
– A device capable of introducing hydrogen safely into the generator or synchronous condenser and also a device capable of expelling hydrogen safely out of the generator or synchronous condenser shall be installed.
– An instrument shall be provided which detects abnormal conditions of the equipment and gives a warning.

9.6 Basic rules for electromagnetic compatibility of control systems

9.6.1 General

This subclause deals with the protection of control circuits against electromagnetic interference.

9.6.2 Electrical noise sources in high voltage installations

Interferences may be transmitted into HV installations by means of conduction, capacitive coupling, induction or radiation.

a) High frequency interferences are produced by
   - switching in primary circuits,
   - lightning strokes on overhead lines or on grounded components of high voltage installations,
   - operation of surge arresters with gaps,
   - switching in secondary circuits,
   - high frequency radio transmitters,
   - electrostatic discharges.

b) Low frequency interferences are produced by
   - short-circuits,
   - earth faults,
   - electromagnetic fields generated by equipment (busbars, power cables, reactances, transformers, etc.)

Protection against interference is based on two general principles:

– reduction of the penetration of electromagnetic fields into the equipment;
– establishment of equal potential between every piece of equipment and the earthing system.

9.6.3 Measures to be taken to reduce the effects of high frequency interference

The recommendations listed below are the most important ones for reducing the effects of high frequency electromagnetic interference:

a) suitable construction of instrument transformers (voltage transformers, current transformers), effective shielding between primary and secondary winding, testing of high frequency transmission behaviour;
b) protection against lightning strokes;
c) improvement of the earthing system and earthing connections (see 10.3.3);
d) shielding of secondary circuit cables:
   - shields should be continuous;
   - shields should have a low resistance (a few ohms per kilometre);
   - shields should have a low coupling impedance within the interference frequency range;
   - earthing of the shields should be as short as possible;
   - the shields should be earthed at both ends and intermediate points where possible;
   - the shields should be earthed at their entry to the control cabinets so that the currents circulating in the shields do not affect the unshielded circuits. Connections should preferably be circular by using suitable cable glands or a welding procedure;

e) grouping of circuits: in order to reduce the differential mode overvoltages, the incoming and outgoing wires associated to a same function should be grouped within the same cable. As far as possible, control cables should be segregated from other cables.

9.6.4 Measures to be taken to reduce the effects of low frequency interference

The recommendations listed below are the most important ones for reducing the effects of low-frequency electromagnetic interference.

a) Measures concerning cable laying:
   - separation of control cables from power cables by using spacing or different routes;
   - power cables in trefoil formation should be preferred to a flat formation;
   - as far as possible, cable routes should not be parallel to bus bars or power cables;
   - control cables should be laid away from inductances and single-phase transformers.

b) Measures concerning the circuit arrangement:
   - loops should be avoided;
   - for d.c. auxiliary supply circuits, a radial configuration is preferable to a ring configuration;
   - the protection of two different d.c. circuits by the same miniature circuit-breaker should be avoided;
   - parallel connection of two coils located in separate cubicles should be avoided;
   - all wires of the same circuit should be located in the same cable. When different cables have to be used, they should be laid in the same route.

c) Twisted pairs cables are recommended for low level signals.

9.6.5 Measures related to the selection of equipment

The installation shall be divided into different zones, each of them corresponding to a specific class of environment (see 4.4).

In each zone, equipment shall be selected in accordance with the associated class of environment.

Where necessary the following measures shall be taken in the internal circuitry:

a) metallic isolation of the I/O signal circuits;

b) installation of filters on auxiliary power supply circuits;

c) installation of voltage-limiting devices such as
   - capacitor or RC circuits;
   - low voltage surge arresters;
   - zener diodes or varistors;
   - transzorb diodes.

These devices shall be installed inside the protection and control equipment.

Additional measures concerning gas-insulated switchgear.

d) Connection of concrete reinforcement grids to the earthing system at various points, especially in the floor (see Clause 10).

e) ~~Good shielding~~ Adequate earthing for power frequency and transient effects at the GIS/air-bushings and GIS-tubes. This is achieved by multiple connections between the enclosure and the building wall (to the reinforcement grid or metallic cladding) and multiple connections between the wall and earthing system.

f) Adequate design and testing of secondary equipment concerning their immunity against electrical transients.

9.6.6 Other possible measures to reduce the effects of interference

The recommendations listed below supplement, when applicable, the previous recommendations:

– installation of control cables in metallic cable ducts is recommended. Continuity and earthing of ducts should be ensured along their whole length;

– where possible, installation of cables along metallic surfaces;

– use of optical fibre cables with appropriate equipment.

10 Earthing systems

10.1 General

This clause provides the criteria for design, installation, testing and maintenance of an earthing system such that it operates under all conditions and ensures the safety of human life in any place to which persons have legitimate access. It also provides the criteria to ensure that the integrity of equipment connected and in proximity to the earthing system is maintained.

10.2 Fundamental requirements

10.2.1 Safety criteria

The hazard to human beings is that a current will flow through the region of the heart which is sufficient to cause ventricular fibrillation. The current limit, for power-frequency purposes is derived from the appropriate curve in IEC/TS 60479-1:2005. This body current limit is translated into voltage limits for comparison with the calculated step and touch voltages taking into account the following factors:

– proportion of current flowing through the region of the heart;

– body impedance along the current path;

– resistance between the body contact points and e.g. metal structure to hand including glove, feet to remote ground including shoes or gravel;

– fault duration.

It must also be recognized that fault occurrence, fault current magnitude, fault duration and presence of human beings are probabilistic in nature.

The earthing design parameters (relevant fundamental requirements, e.g. fault current, fault duration) shall be agreed between user and supplier.

For installation design, the curve shown in Figure 12 is calculated according to the method defined in Annex B.

NOTE The curve is based on data extracted from IEC/TS 60479-1:2005:

– body impedance from Table 1 of IEC/TS 60479-1:2005 (not exceeded by 50 % of the population),

– permissible body current corresponding to the c2 curve in Figure 20 and Table 11 of IEC/TS 60479-1:2005 (probability of ventricular fibrillation is less than 5 %),

– heart current factor according to Table 12 of IEC/TS 60479-1:2005.

The curve in Figure 12, which gives the permissible touch voltage, should be used. Annex C shows the IEEE 80 curve which can be used as an alternative to the curve in Figure 12.

As a general rule, meeting the touch voltage requirements satisfies the step voltage requirements, because the tolerable step voltage limits are much higher than touch voltage limits due to the different current path through the body.

For installations where high-voltage equipment is not located in closed electrical operating areas, e.g. in an industrial environment, a global earthing system should be used to prevent touch voltages resulting from HV faults exceeding the low voltage limit given in IEC 60364-4-41 (e.g. 50 V) [17].

10.2.2 Functional requirements

The earthing system, its components and bonding conductors shall be capable of distributing and discharging the fault current without exceeding thermal and mechanical design limits based on backup protection operating time.

The earthing system shall maintain its integrity for the expected installation lifetime with due allowance for corrosion and mechanical constraints.

Earthing system performance shall avoid damage to equipment due to excessive potential rise, potential differences within the earthing system and due to excessive currents flowing in auxiliary paths not intended for carrying parts of the fault current.

The earthing system, in combination with appropriate measures, shall maintain step, touch and transferred potentials within the voltage limits based on normal operating time of protection relays and breakers.

The earthing system performance shall contribute to ensuring electromagnetic compatibility (EMC) among electrical and electronic apparatus of the high-voltage system in accordance with IEC/TR 61000-5-2.

10.2.3 High and low voltage earthing systems

Where high- and low-voltage earthing systems exist in proximity to each other and do not form a global earthing system, part of the EPR from the HV system can be applied on the LV system. Two practices are presently used:

a) interconnection of all HV with LV earthing systems;

b) separation of HV from LV earthing systems.

In either case, the relevant requirements concerning step, touch and transfer potentials specified below shall be complied with within a substation and at a LV installation supplied from that substation.

NOTE Interconnection is preferred when practicable.

10.2.3.1 LV supply only within HV substations

Where the LV system is totally confined within the area covered by the HV earthing system, both earthing systems shall be interconnected even if there is no global earthing system.

10.2.3.2 LV supply leaving or coming to HV substations

Full compliance is ensured if the earthing system of the HV installation is part of a global earthing system or connected to a multi-earthed HV neutral conductor in a balanced system. If there is no global earthing system the minimum requirements of Table 5 shall be used to identify those situations where interconnection of earthing systems with low-voltage supply outside the high-voltage installation is feasible.

If high-voltage and low-voltage earthing systems are separate, the method of separating earth electrodes shall be chosen such that no danger to persons or equipment can occur in the low-voltage installation. This means that step, touch and transfer potentials and stress voltage in the LV installation caused by a high-voltage fault are within the appropriate limits.

10.2.3.3 LV in the proximity of HV substations

Special consideration should be given to LV systems which are located in the zone of influence of the HV substation earthing system.

For industrial and commercial installations a common earthing system can be used. Due to the close proximity of equipment it is not possible to separate earthing systems.

Table 5 – Minimum requirements for interconnection of low-voltage and high-voltage earthing systems based on EPR limits

Type of LV system [a, b]		EPR requirements		
		Touch voltage	Stress voltage [c]	
			Fault duration $t_f \leq 5$ s	Fault duration $t_f > 5$ s
TT		Not applicable	EPR ≤ 1 200 V	EPR ≤ 250 V
TN		EPR ≤ $F \cdot U_{Tp}$ [d, e]	EPR ≤ 1 200 V	EPR ≤ 250 V
IT	Distributed protective earth conductor	As per TN system	EPR ≤ 1 200 V	EPR ≤ 250 V
	Protective earth conductor not distributed	Not applicable	EPR ≤ 1 200 V	EPR ≤ 250 V

a For definitions of the type of LV systems, see IEC 60364-1.

b For telecommunication equipment, the ITU recommendations should be used.

c Limit may be increased if appropriate LV equipment is installed or EPR may be replaced by local potential differences based on measurements or calculations.

d If the PEN or neutral conductor of the low-voltage system is connected to earth only at the HV earthing system, the value of F shall be 1.

e U_{Tp} is derived from Figure 12

NOTE The typical value for F is 2. Higher values of F may be applied where there are additional connections of the PEN conductor to earth. For certain soil structures, the value of F may be up to 5. Caution is necessary when this rule is applied in soils with high resistivity contrast where the top layer has a higher resistivity. The touch voltage in this case can exceed 50 % of the EPR.

10.3 Design of earthing systems

10.3.1 General

Design of an earthing system can be accomplished as follows:

a) data collection, e.g. earth fault current, fault duration and layout;

b) initial design of the earthing system based on the functional requirements;

c) determine if it is part of a global earthing system;

d) if not, determine soil characteristics e.g. specific soil resistivity of layers;

e) determine the current ~~discharged~~ flowing into ~~soil~~ earth from the earthing system, based on earth fault current;

f) determine the overall impedance to earth, based on the layout, soil characteristics, and parallel earthing systems;

g) determine earth potential rise;

h) determine permissible touch voltage;

i) if the earth potential rise is below the permissible touch voltage and the requirements of Table 5 are met the design is complete;

j) if not, determine if touch voltages inside and in the vicinity of the earthing system are below the tolerable limits;

k) determine if transferred potentials present a hazard outside or inside the electrical power installation; if yes, proceed with mitigation at exposed location;

l) determine if low-voltage equipment is exposed to excessive stress voltage; if yes, proceed with mitigation measures which can include separation of HV and LV earthing systems;

~~m) determine if the circulating transformer neutral current can lead to excessive potential differences between different parts of the earthing system; if yes, proceed with mitigation measures.~~

Once the above criteria have been met, the design can be refined, if necessary, by repeating the above steps. Detailed design is necessary to ensure that all exposed conductive parts, are earthed. Extraneous conductive parts shall be earthed, if appropriate.

A flowchart of this design process is given in Annex D.

The structural earth electrode shall be bonded and form part of the earthing system. If not bonded, verification is necessary to ensure that all safety requirements are met.

Metallic structures with cathodic protection may be separated from the earthing system. Precautions, such as labelling, shall be taken to ensure that when such measures are taken, maintenance work or modifications will not inadvertently nullify them.

10.3.2 Power system faults

The objective is to determine the worst case fault scenario for every relevant aspect of the functional requirements, as these may differ. The following types of fault shall be examined at each voltage level present in the installation:

a) three phases to earth;

b) two phases to earth;

c) single phase to earth;

d) if applicable: phase to phase via earth (cross-country earth fault).

Faults within and outside the installation site shall be examined to determine the worst fault location.

10.3.3 Lightning and transients

Lightning and switching operations are sources of high- and low-frequency currents and voltages. Surges typically occur when switching long cable sections, operating GIS disconnectors or carrying out back-to-back capacitor switching. Successful attenuation requires sufficient electrode density at injection points to deal with high-frequency currents, together with an earthing system of sufficient extent to deal with low-frequency currents. The HV earthing system shall form part of the lightning protection system and additional earthing conductors may be required at injection points.

Relevant electromagnetic compatibility and lightning standards shall be used to address specific aspects related to the transient performance of the earthing system and its components.

When an industrial or commercial installation includes more than one building or location, the earthing system of each shall be interconnected. Since during surges such as lightning strokes, there will be a large difference in potential between the earthing systems of each building and location in spite of the interconnection, measures shall be taken to prevent damage to sensitive

equipment connected between different buildings or locations. Where possible non-metallic media, such as fibre optic cable, should be used for the exchange of low-level signals between such locations.

10.4 Construction of earthing systems

Where construction work involves an existing earthing system, protective measures shall be taken to ensure the safety of persons during fault conditions.

10.5 Measurements

Measurements shall be carried out after construction, where necessary, to verify the adequacy of the design. Measurements may include the earthing system impedance, prospective touch and step voltages at relevant locations and transferred potential, if appropriate. When measuring touch and step voltages under test conditions, e.g current injection test, two choices are possible. Either measure the prospective touch and step voltages using a high impedance voltmeter or measure the effective touch and step voltages appearing across an appropriate resistance which represents the human body.

10.6 Maintainability

10.6.1 Inspections

The construction of the earthing system shall be carried out in a way that the condition of the earthing system can be examined periodically by inspection. Excavating at selective locations and visual inspection are appropriate means which shall be considered.

10.6.2 Measurements

Design and installation of the earthing system shall allow measurements to be carried out periodically or following major changes affecting fundamental requirements, or even for continuity tests.

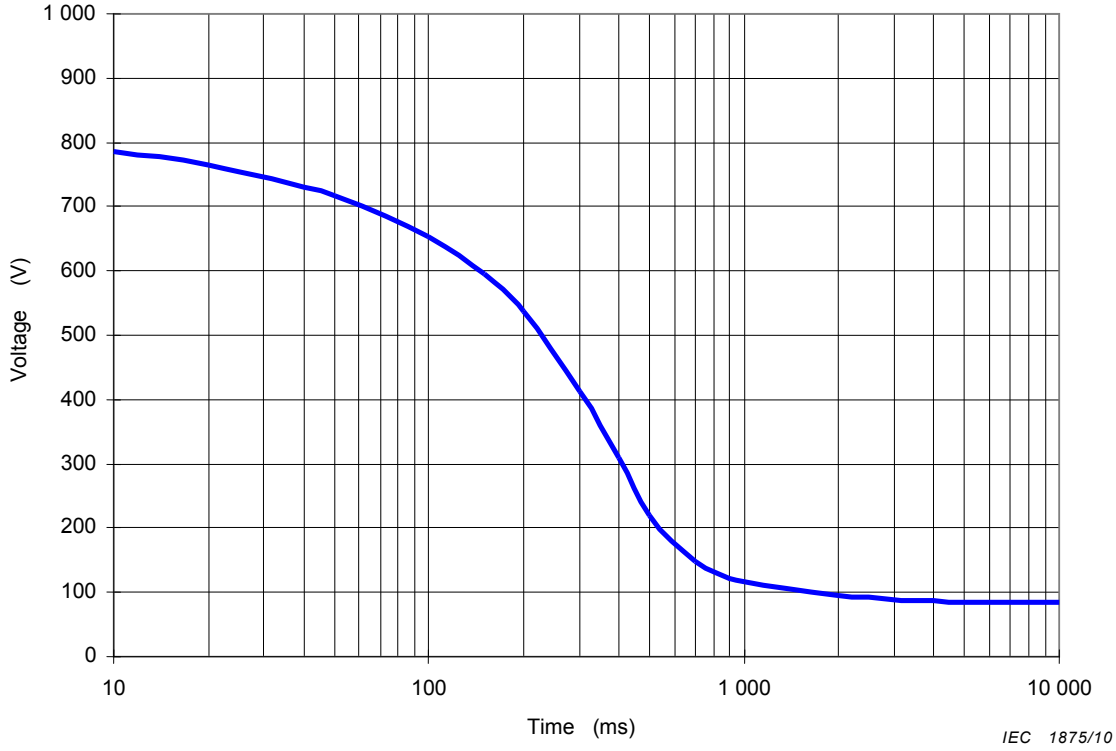


Figure 12 – Permissible touch voltage U_{Tp}

11 Inspection and testing

11.1 General

Inspections and tests shall be carried out to verify compliance of the installation with this standard and compliance of the equipment with the applicable technical specifications.

The following shall be subject to agreement between the supplier and the user:

– the extent of the inspection and testing;
– which specifications are applicable;
– the extent and type of documentation provided.

NOTE Specific tests on site for factory-built and type-tested equipment and for factory-built assemblies are indicated and are based on IEC standards.

Verification may be achieved by the following methods:

a) visual inspections;
b) functional tests;
c) measuring.

Inspections and tests on parts of power installations may be carried out after delivery as well as when the installation has been completed.

Typical activities that are usually carried out are, for example:

- verification of characteristics of the equipment (including rated values) for the given operating conditions;
- verification of minimum clearances between live parts and between live parts and earth;
- power frequency voltage test for switchgear;
- voltage test for cables;
- verification of minimum heights and of protective barrier clearances;
- visual inspections and/or functional tests of electrical equipment and parts of installation;
- functional tests and/or measuring of protective, monitoring, measuring and controlling devices;
- inspection of markings, safety signs and safety devices;
- verification of correct fire ratings for buildings/enclosures;
- verification that emergency exits are operational;
- verification of the earthing system.

11.2 Verification of specified performances

Tests will, in general, be carried out on the various items of equipment comprising an installation at appropriate stages of the contract to ultimately verify performance of the installation. The tests required, their conditions and organization are to be defined. This may include definition of the provision of site services, personnel, etc.

11.3 Tests during installation and commissioning

The user and supplier shall agree on the requirements (methods and acceptance criteria) for tests during installation and commissioning, together with a listing of the testing standards to be applied. This may include functional tests to demonstrate the ability of the equipment to satisfy the operational requirements, such as automatic start-up and shutdown.

The test equipment for demonstration of achievement of design requirements should be agreed between the user and supplier.

The user and supplier shall agree on a schedule of tests for components and systems during the installation and commissioning period. The necessary services to allow the tests to be carried out should be agreed between the parties.

NOTE The contractual consequences of the outcome of the tests during installation and commissioning should be stated in the enquiry, where appropriate.

11.4 Trial running

When agreed between the user and supplier, a trial run shall be performed. The purpose of the trial run is to prove the functional capability of the high-voltage installation. During the run, therefore, all significant components should be in operation.

The agreement should define under what circumstances a breakdown of a significant component constitutes an interruption of the trial. The user may also give exception criteria for breakdowns of a very short period, for example simply extending the period of the trial by the outage time.

The conditions that have to be met for the successful completion of the trial run should be defined in the enquiry.

NOTE The contractual consequences of the outcome of the trial run should be stated in the enquiry, where appropriate.

12 Operation and maintenance manual

Each installation should have an operation manual describing the normal, emergency, and maintenance procedures as well as safety instructions for the operation of the high-voltage electrical installation.

For the preparation of manuals and instructions, IEC 82079-1 applies.

Each installation should have a set of up-to-date drawings and operating diagrams on the premises. These drawings and diagrams should allow operation and maintenance personnel to provide safe and efficient interventions in the installation.

Manufacturers of major components of an installation should provide operation and maintenance manuals and test and in-service reports. These documents should be readily available for use when necessary.

Emergency routes to the nearest hospital and emergency phone numbers should be displayed in a visible location in the installation.

Annex A
(normative)

Values of rated insulation levels and minimum clearances based on current practice in some countries

Table A.1 – Values of rated insulation levels and minimum clearances in air for 1 kV < U_m ≤ 245 kV for highest voltage for installation U_m not standardized by the IEC based on current practice in some countries

Voltage range	Highest voltage for installation	Rated short-duration power-frequency withstand voltage	Rated lightning impulse withstand voltage [a]	Minimum phase-to-earth and phase-to-phase clearance N	
	U_m r.m.s.	U_d r.m.s.	U_p 1,2/50 µs peak value	Indoor installations	Outdoor installations
	kV	kV	kV	mm	mm
I	2,75	15	30	60	120
			45	70	120
			60	90	120
	4,76	19	60	90	120
	5,5	19	45	70	120
			60	90	120
			75	120	120
	8,25	27	60	90	120
			75	120	150
			95	160	160
	8,25	26	75	120	150
		35	95	160	160
	15	35	95	160	160
		50	110	180	180
	15,5	35	75	120	150
			85	150	160
			110	180	180
	17,5	38	110	180	
			125	220	
	24	50	150	280	
	25	50	95	190	290
			125	210	
			150		
	25,8	50	125	220	
		70	150	280	
	27	50	95	160	
			125	220	
			150	280	

[a] The rated lightning impulse is applicable phase-to-phase and phase-to-earth.

Table A.2 – Values of rated insulation levels and minimum clearances in air for 1 kV < U_m ≤ 245 kV for highest voltage for installation U_m not standardized by IEC based on current practice in some countries

Voltage range	Highest voltage for installation	Rated short-duration power-frequency withstand voltage	Rated lightning impulse withstand voltage [a]	Minimum phase-to-earth and phase-to-phase clearance N	
	U_m r.m.s.	U_d r.m.s.	U_p 1,2/50 µs peak value	Indoor installations	Outdoor installations
	kV	kV	kV	mm	mm
I	30	70	160	290	
	36	70	200	380	
	38	70	125	220	
			150	280	
			200	360	
	38	70	150	280	
		95	200	360	
	38,5	75	155	270	400
			180	320	
			195		
	40,5	80	190	350	
	41,5	80	170	320	
			200	360	
	48,3	105	150	280	
			200	360	
			250	480	
	48,3	120	250	480	
	72,5	160	350	690	
	82,5	150	380	750	
	100	150	380	750	
		185	450	900	
	204	275	650	1 300	
		325	750	1 500	

[a] The rated lightning impulse is applicable to phase-to-phase and phase-to-earth.

Table A.3 – Values of rated insulation levels and minimum clearances in air for U_m > 245 kV for highest voltages for installation U_m not standardized by IEC based on current practice in some countries

Voltage range	Highest voltage for installation	Rated short-duration power-frequency withstand voltage	Rated lightning impulse withstand voltage[a]	Rated switching impulse withstand voltage	Minimum phase-to-earth clearance		Rated switching impulse withstand voltage	Minimum phase-to-phase clearance	
	U_m r.m.s.	U_d r.m.s.	U_p 1,2/50 µs peak value	U_p Phase-to-earth 250/2 500 µs peak value	Conductor – structure	Rod – structure N	U_p Phase-to-phase 250/2 500 µs peak value	Conductor – conductor parallel	Rod – conductor
	kV	kV	kV	kV	mm		kV	mm	
II	362	520	1 300	950	2 400	2 900	1 425	3 100	3 600
	550	680	1 800	1 175		4 000			6 500
	550	710	1 800	1 175	3 300	4 100	2 210	6 100	7 400
	550	775	1 800	1 175	3 350	3 650		4 600	5 200
	550	635	1 300 1 425 1 550 1 800			5 800			5 800

[a] The rated lightning impulse is applicable phase-to-phase and phase-to-earth.

Annex B
(normative)

Method of calculating permissible touch voltages

Formula:

$$U_{\mathrm{Tp}} = I_{\mathrm{B}}(t_{\mathrm{f}}) \cdot \frac{1}{HF} \cdot Z_{\mathrm{T}}(U_{\mathrm{T}}) \cdot BF$$

Factors:

Touch voltage	U_{T}	
Permissible touch voltage	U_{Tp}	
Fault duration	t_{f}	
Body current limit	$I_{\mathrm{B}}(t_{\mathrm{f}})$	c2 in Figure 20 and Table 11 of IEC/TS 60479-1:2005, where probability of ventricular fibrillation is less than 5 %. I_{B} depends on fault duration
Heart current factor	HF	Table 12 of IEC/TS 60479-1:2005, i.e. 1,0 for left hand to feet, 0,8 for right hand to feet, 0,4 for hand to hand
Body impedance	$Z_{\mathrm{T}}(U_{\mathrm{T}})$	Table 1 and Figure 3 of IEC/TS 60479-1:2005 ZT not exceeded by 50 % of the population ZT depends on touch voltage. Therefore first calculation has to start with assumed level
Body factor	BF	Figure 3 of IEC/TS 60479-1:2005, i.e. 0,75 for hand to both feet, 0,5 for both hand to feet

NOTE 1 Different touch voltage conditions, e.g. left hand to feet, hand to hand, lead to different tolerable touch voltages. Figure 4 of this standard is based on a weighted average taken from four different touch voltage configurations. Touch voltage left hand to feet (weighted 1,0), touch voltage right hand to feet (weighted 1,0), touch voltage both hand to feet (weighted 1,0) and touch voltage hand to hand (weighted 0,7).

NOTE 2 Different parameter values are applicable for some countries (as indicated in the Foreword).

For specific consideration of additional resistances the formula to determine prospective permissible touch voltage becomes:

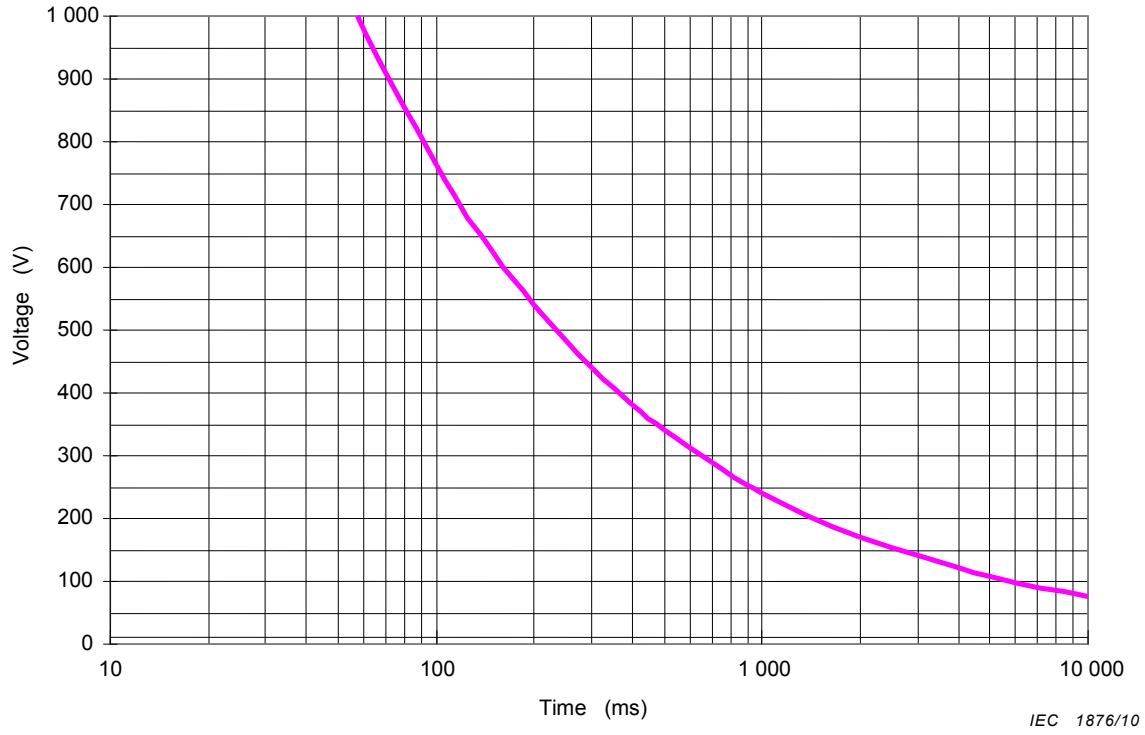
$$U_{\mathrm{vTp}} = I_{\mathrm{B}}(t_{\mathrm{f}}) \cdot \frac{1}{HF} \cdot \left(Z_{\mathrm{T}}(U_{\mathrm{T}}) \cdot BF + R_{\mathrm{H}} + R_{\mathrm{F}}\right)$$

Additional factors:

Prospective permissible touch voltage	U_{vTp}
Additional hand resistance	R_{H}
Additional foot resistance	R_{F}

Annex C
(normative)

Permissible touch voltage according IEEE 80



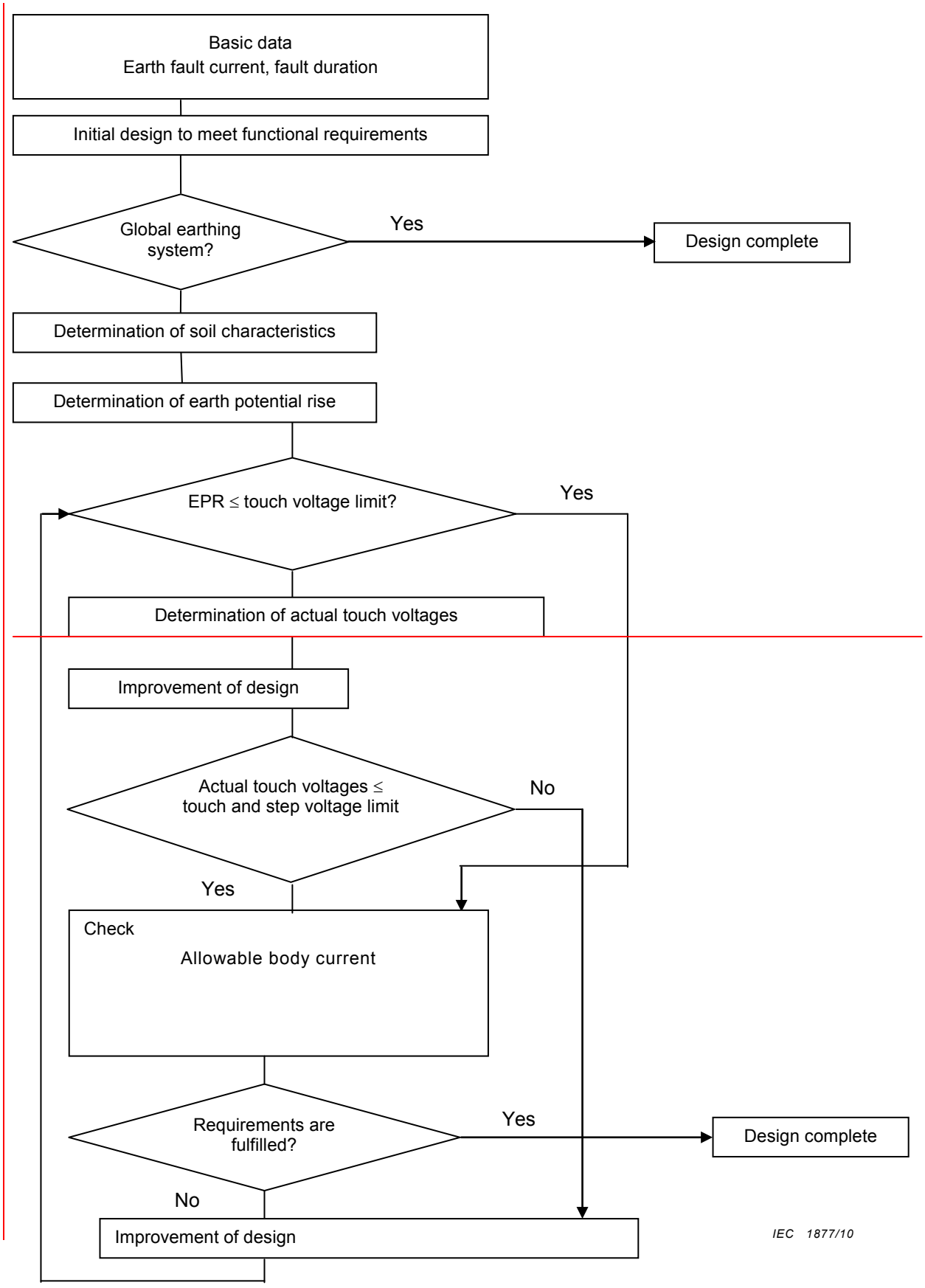
NOTE 1 The touch voltage curve is based on a specific soil resistivity of 100 Ωm and a surface layer of 0,1 m with a specific resistivity of 1 000 Ωm.

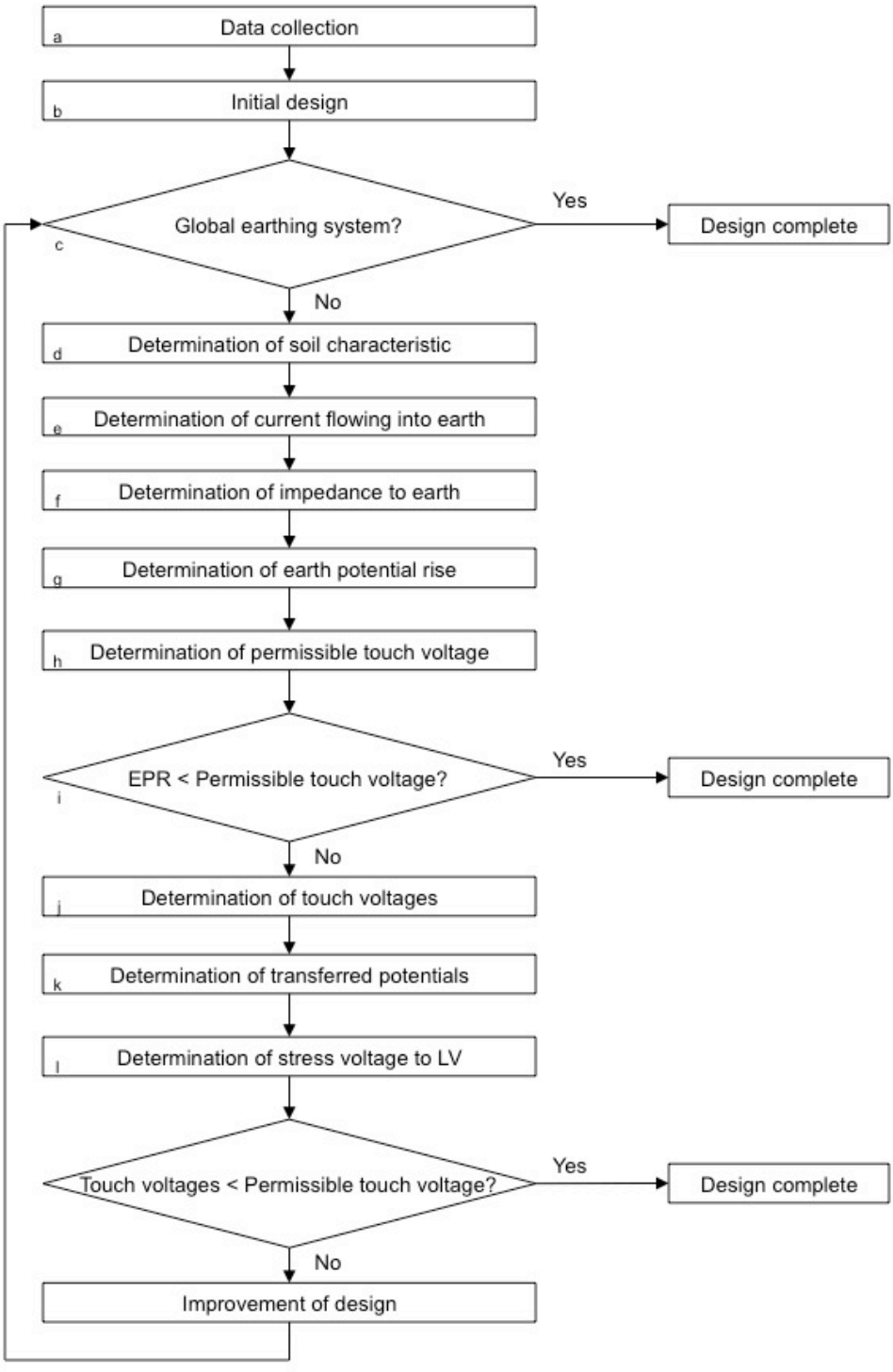
NOTE 2 Figure C.1 assumes a person weighing 50 kg and a gravel surface.

Figure C.1 – Permissible touch voltage U_{Tp} according IEEE 80

Annex D
(normative)

Earthing system design flow chart




a
Data collection
b
Initial design
c
Global earthing system?
Yes
Design complete
No
d
Determination of soil characteristic
e
Determination of current flowing into earth
f
Determination of impedance to earth
g
Determination of earth potential rise
h
Determination of permissible touch voltage
i
EPR < Permissible touch voltage?
Yes
Design complete
No
j
Determination of touch voltages
k
Determination of transferred potentials
l
Determination of stress voltage to LV
Touch voltages < Permissible touch voltage?
Yes
Design complete
No
Improvement of design
IEC 0221/14

Annex E
(informative)

Protection measures against direct lightning strokes

E.1 General

Model tests, measurements, observation and experience over many years have shown that direct lightning strokes can be avoided with a high degree of certainty by using the following arrangements of lightning conductors or rods. The protection zones shown in Figures E.1 through E.4 are valid for installations up to a height H of 25 m. For heights exceeding 25 m the protection zone is reduced.

NOTE The height of 25 m corresponds to a 420 kV network structure.

The following method supplies a sufficient protection level but without detailed studies of insulation coordination.

E.2 Shield wires

A single shield wire provides a tent-shaped protection zone, the limits of which are formed by arcs with a radius of 2 H beginning at the shield wire peak (see Figure E.1) and following the length of the wire.

Two shield wires at a distance of less than or equal to 2 H apart provide an extension of the protection zone which is limited by the two conductors, an arc of radius R and centre M_R at a height 2 H (see Figure E.2).

This zone is continuous all along the span of conductors.

E.3 Lightning rods

Upward streamer discharges develop earlier from lightning rods than from shield wires.

The protection zone of a lightning rod is generally larger than that of a shield wire at the same height.

A single lightning rod provides a cone-shaped protection zone with limits of an arc of radius 3 H passing through the tip of the lightning rod (refer to Figure E.3).

Two lightning rods at a spacing of less or equal than 3 H provide an extension of the protection zone ~~(see Figure E.4)~~ which is limited by an arc of radius R with the centre M_R at a height of 3 H passing through the tips of the lightning rods (see Figure E.4).

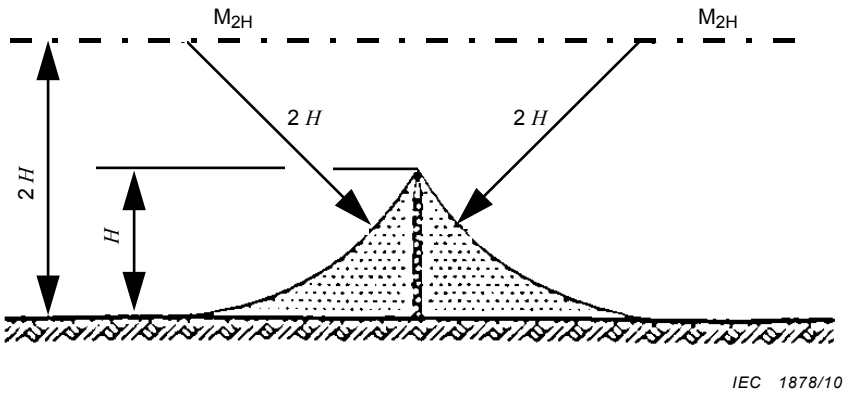
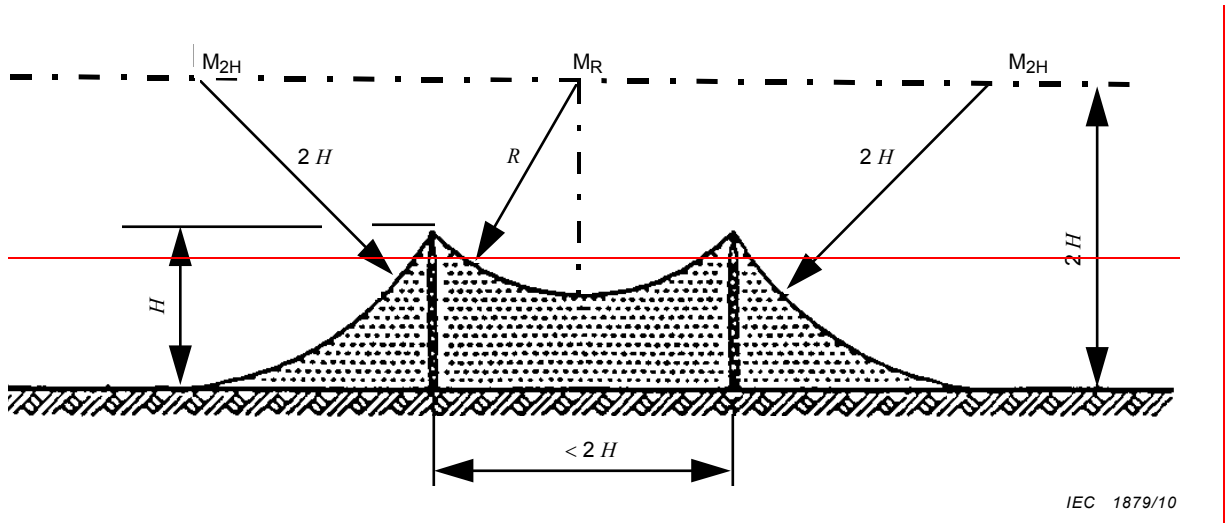


Figure E.1 – Single shield wire



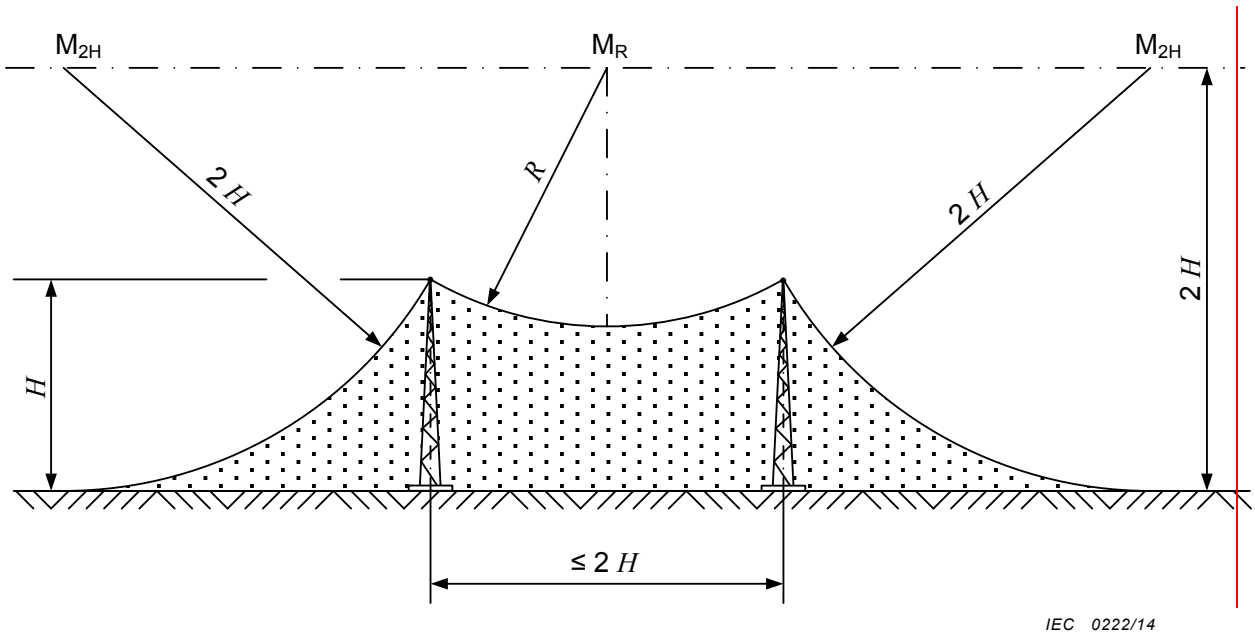


Figure E.2 – Two shield wires

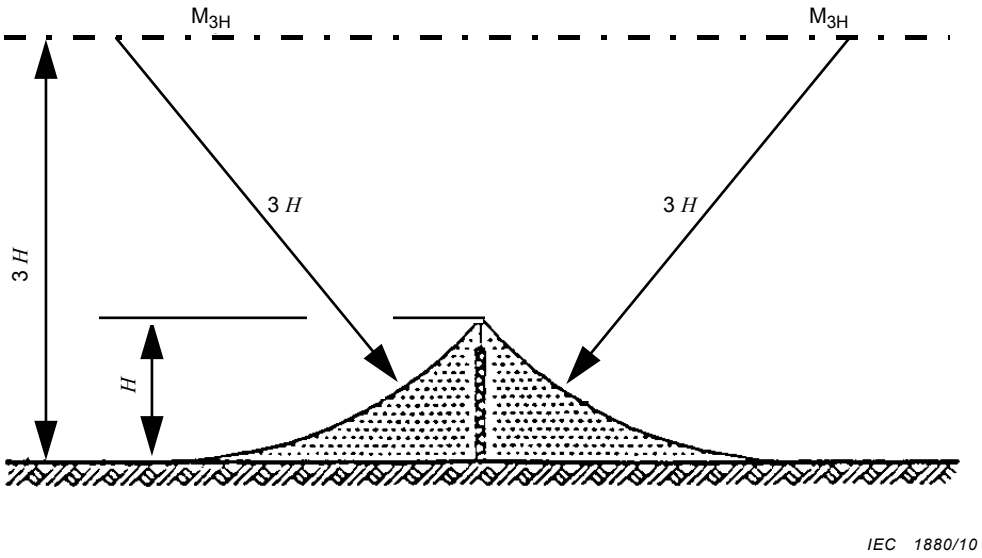


Figure E.3 – Single lightning rod

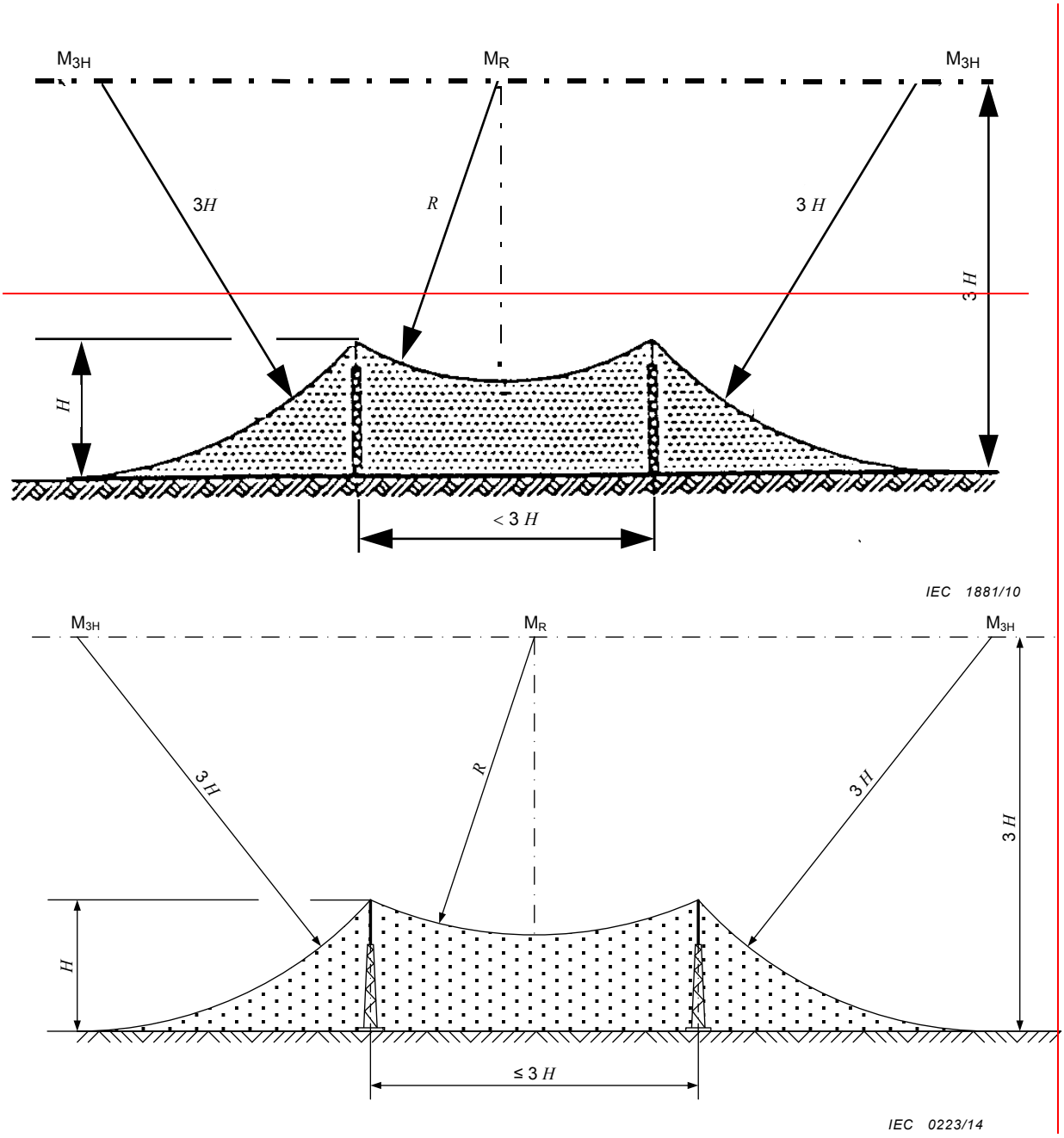


Figure E.4 – Two lightning rods

Bibliography

[1] CISPR 18-1, *Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment – Part 1: Description of phenomena*

[2] CISPR 18-2, *Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment – Part 2: Methods of measurement and procedure of determining limits*

[3] CISPR 18-3, *Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment – Part 3: Code of practice for minimizing the generation of radio noise*

[4] IEC 60038, *IEC standard voltages*

[5] IEC 60044-6, *Instrument transformers – Part 6: Requirements for protective current transformers for transient performance*

[6] IEC 60050-151, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 151: Electrical and magnetic devices*

[7] IEC 60050-195, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 195: Earthing and protection against electric shock*

[8]]IEC 60050-411, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 411: Rotating machines*

[9] IEC 60050-441, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*

[10] IEC 60050-601, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*

[11] IEC 60050-602, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 602: Generation, transmission and distribution of electricity – Generation*

[12] IEC 60050-604, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 604: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation*

[13] IEC 60050-605, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 605: Generation, transmission and distribution of electricity – Substations*

[14] IEC 60050-651, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 651: Live working*

[15] IEC 60050-826, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 826: Electrical installations*

[16] IEC 60068 (all parts), *Environmental testing*

[17] IEC 60364-4-41, *Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock*

[18] IEC 60480, *Guidelines for the checking and treatment of sulphur hexafluoride (SF_6) taken from electrical equipment and specification for its re-use*

[19] IEC 60664-1, *Insulation co ordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

[20] IEC 60721-2-2, *Classification of environmental conditions – Part 2-2: Environmental conditions appearing in nature – Precipitation and wind*

[21] IEC 60721-2-3, *Classification of environmental conditions – Part 2-3: Environmental conditions appearing in nature – Air pressure*

[22] IEC 60721-2-4, *Classification of environmental conditions – Part 2-4: Environmental conditions appearing in nature – Solar radiation and temperature*

[23] IEC 62271-100, *High voltage switchgear and controlgear – Part 100: High-voltage alternating current circuit-breakers*

[24] IEC 62271-102, *High voltage switchgear and controlgear – Part 102: High-voltage alternating current disconnectors and earthing switches*

[25] IEC 62271-103, *High voltage switchgear and controlgear – Part 103: Switches for rated voltages above 1 kV and less than 52 kV*

[26] IEC 62271-104, *High voltage switchgear and controlgear – Part 104: Switches for rated voltages of 52 kV and above*

[27] IEC 62271-105, *High voltage switchgear and controlgear – Part 105: Alternating current switch-fuse combinations*

[28] IEEE Guide 998:1996, IEEE Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations

[29] CIGRE Report 23-04:1972, Handling of SF_6 and its decomposition products in gas insulated switchgear

[30] CIGRE Report 23-07:1991, Adaptation of substations to their environment both in urban and rural areas, including noise problems and oil pollution of subsoil

[31] CIGRE Guide No. 234: August 2003, SF6 Recycling Guide (Revision 2003)

[32] CIGRE Guide No. 276: August 2005, Guide for the preparation of customized 'Practical SF6 Handling Instructions'

[33] Factory Mutual Global Standard 3990, 06/1997: Approval standard for Less or Nonflammable Liquid Insulated Transformers

[34] IEC 60092 (all parts), *Electrical installations in ships*

[35] IEC 61892 (all parts), *Mobile and fixed offshore units – Electrical installations*

[36] EN 13501-1, *Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using data from reaction to fire tests*

[37] EN 13501-2, *Fire classification of construction products and building elements – Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 115
INTRODUCTION 119
1 Domaine d'application 120
2 Références normatives 121
3 Termes et définitions 124
3.1 Définitions générales 124
3.2 Définitions concernant les installations 126
3.3 Définitions concernant les types d'installations 127
3.4 Définitions concernant les mesures de protection contre les chocs électriques 127
3.5 Définitions concernant les espaces libres 128
3.6 Définitions concernant la commande et la protection 129
3.7 Définitions concernant la mise à la terre 129
4 Exigences fondamentales 133
4.1 Généralités 133
4.1.1 Exigences générales 133
4.1.2 Accords entre fournisseur (constructeur) et utilisateur 134
4.2 Exigences électriques 135
4.2.1 Méthodes de mise à la terre du neutre 135
4.2.2 Classification des tensions 136
4.2.3 Courant en fonctionnement normal 136
4.2.4 Courant de court-circuit 136
4.2.5 Fréquence assignée 136
4.2.6 Effet couronne 136
4.2.7 Champs électriques et magnétiques 137
4.2.8 Surtensions 137
4.2.9 Harmoniques 137
4.3 Exigences mécaniques 137
4.3.1 Matériels et structures de support 137
4.3.2 Charge de tension mécanique 138
4.3.3 Charge de mise en œuvre 138
4.3.4 Charge de glace 138
4.3.5 Charge due au vent 138
4.3.6 Efforts dus aux manœuvres 138
4.3.7 Forces de court-circuit 139
4.3.8 Perte de la tension mécanique d'un conducteur 139
4.3.9 ~~Vibrations~~ Charges sismiques 139
4.3.10 Dimensionnement des structures de support 139
4.4 Conditions climatiques et environnementales 140
4.4.1 Généralités 140
4.4.2 Conditions normales 140
4.4.3 Conditions particulières 141
4.5 Exigences particulières 143
4.5.1 Effets dus à la présence de petits animaux et micro-organismes 143
4.5.2 Niveau de bruit 143
4.5.3 Transport 143

5 Isolement 143
5.1 Généralités 143
5.2 Choix du niveau d'isolement 143
5.2.1 Considération relative aux méthodes de mise à la terre du neutre 144
5.2.2 Considération relative aux tensions assignées de tenue au choc 144
5.3 Vérification des valeurs de tenue au choc 144
5.4 Espaces libres minimaux des parties actives 144
5.4.1 Généralités 144
5.4.2 Espaces libres minimaux dans la plage de tensions I 145
5.4.3 Espaces libres minimaux dans la plage de tensions II 145
5.5 Espaces libres minimaux entre les parties dans des conditions spéciales 148
5.6 Zones de connexion soumises à essai 148
6 Matériels 148
6.1 Exigences générales 148
6.1.1 Choix 148
6.1.2 Conformité 148
6.1.3 Sécurité du personnel 149
6.2 Exigences spécifiques 149
6.2.1 Dispositifs de coupure 149
6.2.2 Transformateurs de puissance et réactances 150
6.2.3 Appareillage préfabriqué soumis à un essai de type 150
6.2.4 Transformateurs de mesure 150
6.2.5 Parafoudres 151
6.2.6 Condensateurs 151
6.2.7 Circuits-bouchons 152
6.2.8 Isolateurs 152
6.2.9 Câbles isolés 152
6.2.10 Conducteurs et accessoires 155
6.2.11 Machines électriques tournantes 155
6.2.12 Générateurs 156
6.2.13 Connexions principales du générateur 156
6.2.14 Convertisseurs statiques 157
6.2.15 Fusibles 157
6.2.16 Interverrouillage électrique et mécanique 157
7 Installations 158
7.1 Exigences générales 158
7.1.1 Agencement des circuits 158
7.1.2 Documentation 159
7.1.3 Voies de circulation 159
7.1.4 Allées et zones d'accès 159
7.1.5 Eclairage 159
7.1.6 Sécurité opérationnelle 160
7.1.7 Etiquetage 160
7.2 Installations extérieures de conception libre 160
7.2.1 Espaces libres des barrières de protection 161
7.2.2 Espaces libres des obstacles de protection 161
7.2.3 Espaces libres de séparation 161
7.2.4 Hauteur minimale au-dessus de la zone d'accès 161
7.2.5 Distances des bâtiments 162

7.2.6 Clôtures ou murs extérieurs et portes d'accès 162
7.3 Installations ouvertes en bâtiment 163
7.4 Installation de l'appareillage préfabriqué soumis à essai de type 163
7.4.1 Généralités 163
7.4.2 Exigences supplémentaires relatives aux appareillages à gaines métalliques à isolement au gaz (GIS) 164
7.5 Exigences relatives aux bâtiments 165
7.5.1 Introduction 165
7.5.2 Dispositions structurelles 165
7.5.3 Salles des appareillages 167
7.5.4 Zones de maintenance et d'exploitation 167
7.5.5 Portes 167
7.5.6 Evacuation des liquides isolants 168
7.5.7 Climatisation et ventilation 168
7.5.8 Bâtiments qui exigent un examen particulier 169
7.6 Postes préfabriqués à haute tension/basse tension 169
7.7 Installations électriques sur mât, pylône et tour 169
8 Mesures de sécurité 176
8.1 Généralités 176
8.2 Protection contre les contacts directs 176
8.2.1 Mesures de protection contre les contacts directs 176
8.2.2 Exigences de protection 177
8.3 Dispositions de protection des personnes contre le contact indirect 178
8.4 Dispositions de protection des personnes travaillant sur des installations électriques 178
8.4.1 Matériel pour l'isolement des installations ou des appareils 178
8.4.2 Dispositifs pour empêcher le réenclenchement des dispositifs de sectionnement 179
8.4.3 Dispositifs de vérification de l'absence de tension 179
8.4.4 Dispositifs de mise à la terre et en court-circuit 179
8.4.5 Matériels agissant comme barrières de protection contre les parties actives voisines 180
8.4.6 Stockage de l'équipement de protection individuelle 181
8.5 Protection contre les dangers provenant d'un défaut d'arc 181
8.6 Protection contre les coups de foudre directs 182
8.7 Protection contre l'incendie 182
8.7.1 Généralités 182
8.7.2 Transformateurs, réactances 183
8.7.3 Câbles 187
8.7.4 Autres matériels contenant un liquide inflammable 188
8.8 Protection contre les fuites de liquide isolant et de gaz SF_6 188
8.8.1 Fuites de liquide isolant et protection de la nappe phréatique 188
8.8.2 Fuite de gaz SF_6 189
8.8.3 Défaillance avec perte de gaz SF_6 et de ses produits de décomposition 190
8.9 Identification et marquage 190
8.9.1 Généralités 190
8.9.2 Plaques d'identification et plaques de mise en garde 190
8.9.3 Avertissement concernant les dangers dus à l'électricité 190
8.9.4 Installations avec des condensateurs incorporés 190

8.9.5 Panneaux de sécurité pour sorties de secours 190
8.9.6 Marquage d'identification des câbles 191
9 Systèmes de protection, de commande et auxiliaires 197
9.1 Systèmes de surveillance et de commande 197
9.2 Circuits d'alimentation en courant continu et courant alternatif 198
9.2.1 Généralités 198
9.2.2 Alimentation à courant alternatif 199
9.2.3 Alimentation à courant continu 199
9.3 Systèmes à air comprimé 200
9.4 Installations de manipulation du gaz SF_6 200
9.5 Centrales d'hydrogène 201
9.6 Règles de base applicables à la compatibilité électromagnétique des systèmes de commande 201
9.6.1 Généralités 201
9.6.2 Sources de bruit électrique dans les installations à haute tension 201
9.6.3 Mesures à prendre pour réduire les effets des perturbations à haute fréquence 201
9.6.4 Mesures à prendre pour réduire les effets des perturbations à basse fréquence 202
9.6.5 Mesures liées au choix du matériel 202
9.6.6 Autres mesures possibles pour réduire les effets des perturbations 203
10 Installations de mise à la terre 203
10.1 Généralités 203
10.2 Exigences fondamentales 203
10.2.1 Critères de sécurité 203
10.2.2 Exigences fonctionnelles 204
10.2.3 Installations de mise à la terre haute et basse tension 205
10.3 Conception des installations de mise à la terre 206
10.3.1 Généralités 206
10.3.2 Défauts du réseau électrique 207
10.3.3 Foudre et transitoires 207
10.4 Construction des installations de mise à la terre 208
10.5 Mesures 208
10.6 Maintenabilité 208
10.6.1 Contrôles 208
10.6.2 Mesures 208
11 Contrôle et essais 209
11.1 Généralités 209
11.2 Vérification des performances spécifiées 210
11.3 Essais lors de l'installation et de la mise en service 210
11.4 Essai de mise en exploitation 210
12 Manuel de fonctionnement et de maintenance 211
Annexe A (normative) Valeurs des niveaux d'isolement assignés et des distances minimales fondées sur les pratiques courantes dans certains pays 212
Annexe B (normative) Méthode de calcul des tensions de contact admissibles 215
Annexe C (normative) Tension de contact admissible conformément à l'IEEE 80 216
Annexe D (normative) Diagramme de conception d'une installation de mise à la terre 217
Annexe E (informative) Méthodes de protection contre les coups de foudre directs 219
Bibliographie 223

Figure 1 – Protection contre les contacts directs au moyen de barrières/obstacles de protection à l'intérieur de locaux électriques fermés 170
Figure 2 – Distances des limites et hauteur minimale à la clôture/mur extérieurs 172
Figure 3 – Hauteurs et distances de travail minimales à l'intérieur de locaux électriques fermés 173
Figure 4 – Approches avec bâtiments (à l'intérieur de locaux électriques fermés) 174
Figure 5 – Distance minimale d'approche pour le transport 175
Figure 6 – Cloisons de séparation entre les transformateurs 191
Figure 7 – Protection contre l'incendie entre le transformateur et le bâtiment 194
Figure 8 – Fosse avec réservoir de récupération intégré 195
Figure 9 – Fosse avec réservoir de récupération séparé 195
Figure 10 – Fosse avec réservoir de récupération commun intégré 196
Figure 11 – Exemple de petits transformateurs sans couche de gravier ni réservoir de récupération 196
Figure 12 – Tension de contact admissible U_{Tp} 209
Figure C.1 – Tension de contact admissible U_{Tp} conformément à l'IEEE 80 216
Figure E.1 – Câble de garde simple 220
Figure E.2 – Deux câbles de garde simple 220
Figure E.3 – Paratonnerre seul 221
Figure E.4 – Deux paratonnerres 222

Tableau 1 – Distances minimales d'isolement dans l'air – Plage de tensions I (1 kV < U_m ≤ 245 kV) 146
Tableau 2 – Distances minimales d'isolement dans l'air – Plage de tensions II (U_m > 245 kV) 147
Tableau 3 – Valeurs indicatives pour les distances de sécurité des transformateurs à l'extérieur 185
Tableau 4 – Exigences minimales applicables à l'installation de transformateurs à l'intérieur 186
Tableau 5 – Exigences minimales pour l'interconnexion d'installations de mise à la terre basse et haute tension basées sur les limites d'EPR 206
Tableau A.1 – Valeurs des niveaux d'isolement assignés et distances minimales dans l'air pour 1 kV < U_m ≤ 245 kV pour la tension la plus élevée pour l'installation U_m non normalisées par la CEI, sur la base des pratiques courantes dans certains pays 212
Tableau A.2 – Valeurs des niveaux d'isolement assignés et distances minimales dans l'air pour 1 kV < U_m ≤ 245 kV pour la tension la plus élevée pour l'installation U_m non normalisées par la CEI, sur la base des pratiques courantes dans certains pays 213
Tableau A.3 – Valeurs des niveaux d'isolement assignés et distances minimales dans l'air pour U_m > 245 kV pour les tensions les plus élevées pour l'installation U_m non normalisées par la CEI, sur la base des pratiques courantes dans certains pays 214

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES EN COURANT ALTERNATIF DE PUISSANCE SUPÉRIEURE À 1 kV –

Partie 1: Règles communes

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

Cette version consolidée de la CEI 61936-1 porte le numéro d'édition 2.1. Elle comprend la deuxième édition (2010-08) [documents 99/95/FDIS et 99/96/RVD] et son amendement 1 (2014-02) [documents 99/129/FDIS et 99/131/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

Dans cette version Redline, une ligne verticale dans la marge indique où le contenu technique est modifié par l'amendement 1. Les ajouts et les suppressions apparaissent en rouge, les suppressions étant barrées. Une version Finale avec toutes les modifications acceptées est disponible dans cette publication.

Cette publication a été préparée par commodité pour l'utilisateur.

La norme internationale CEI 61936-1 a été élaborée par le comité d'études 99 de la CEI: Conception de systèmes et mise en oeuvre d'installations électriques de puissance de tensions nominales supérieures à 1 kV en courant alternatif et 1,5 kV en courant continu, en particulier concernant les aspects de sécurité.

Les principaux changements par rapport à l'édition antérieure sont énumérés ci-dessous:

- nouveau tableau de références pour les accords complémentaires entre le constructeur/entrepreneur/planificateur et utilisateur/maître d'œuvre/propriétaire (4.1.2)
- ajout d'espaces libres minimaux dans l'air non normalisés par la CEI, mais fondés sur la pratique courante dans certains pays (Annexe A)
- suppression des tensions nominales (Tableaux 1 et 2, Article 5)
- ajout de réglementations applicables aux fusibles (6.2.15)
- simplification des réglementations applicables aux voies d'évacuation (7.5.4)
- suppression des réglementations spéciales applicables aux allées de service (7.5.4)
- modification des espaces libres pour la protection contre l'incendie (Tableau 3)
- modification des critères de sécurité pour les installations de mise à la terre (10.2.1)
- courbes modifiées des tensions de contact admissibles (Figure 12, Annexe B)
- suppression de la numérotation des paragraphes sans titre
- substitution de « il convient » par « doit » dans de nombreux cas ou modification des paragraphes contenant « il convient » par une note

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties[1] de la série CEI 61936, sous le titre général *Installations électriques en courant alternatif de puissance supérieure à 1 kV*, figure sur le site internet de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

Les différences suivantes existent dans les pays indiqués ci-dessous.

- 4.3.2: Les combinaisons sont par exemple: –40 °C sans glace et sans vent; –0 °C avec glace et sans vent; –20 °C avec vent. Pour les projets spéciaux, une valeur régulière de –50 °C sans glace et sans vent peut se révéler nécessaire (Finlande)
- 4.4.2.2a: Une classe régulière de –50 °C peut se révéler nécessaire (Finlande)
- 6.2.4.1: Les conducteurs des transformateurs de courant ne doivent pas comporter de fusibles (Norvège)
- 7.2.1: La hauteur minimale des barrières pour installations extérieures doit être de 2,0 m. Les barrières doivent satisfaire aux mêmes exigences que la clôture extérieure. La hauteur minimale des parties actives situées derrière une barrière doit être N + 300 mm avec une hauteur minimale de 800 mm (Finlande)
- 7.2.2: L'utilisation d'obstacles de protection n'est pas admise dans les installations électriques à l'extérieur des bâtiments (Finlande)
- 7.2.2: Les rails, chaînes et cordes ne sont pas admis comme obstacles (Suède)
- 7.2.2: La hauteur H pour les installations extérieures doit être au moins $H = N$ + 2 500 mm, avec une hauteur minimale de 3 000 mm (Suède)

[1] Au moment de la rédaction de la présente norme, les autres parties sont toujours en cours d'étude.

- 7.2.4: La hauteur H pour les installations extérieures doit être au moins $H = N$ + 2 500 mm, avec une hauteur minimale de 3 000 mm (Suède)
- 7.2.4: La hauteur H pour les installations extérieures doit être au moins $H = N$ + 2 600 mm, avec une hauteur minimale de 2 800 mm (Finlande)
- 7.2.6: La hauteur de la clôture extérieure doit être au moins de 2 000 mm. Les conditions locales de neige doivent être prises en compte (Finlande)
- 7.2.6: La hauteur de la clôture extérieure doit être au moins de 2 500 mm (Australie)
- 7.2.6: Un treillis de dimensions 50 mm × 200 mm n'est pas accepté (Australie)
- 7.2.6: Les lignes directrices relatives à la construction des clôtures figurent dans le document ENA Doc 015 (Australie)
- 7.3: L'utilisation d'installations extérieures de conception libre n'est pas admise (Finlande)
- 7.3: Un rail doit être constitué d'un matériau non conducteur de couleurs jaune/noir derrière des portes (cellules) et des ouvertures supérieures à 0,5 m (Norvège)
- 7.3: Les rails, chaînes et cordes ne sont pas admis comme obstacles (Suède)
- 7.4.1: Les matériels et câbles, situés en dehors de locaux de service électrique fermés, doivent être constitués d'un blindage intermédiaire mis à la terre ou être protégés contre tout contact fortuit par une mise hors d'atteinte. Par blindage intermédiaire mis à la terre, on entend enceinte métallique pour les matériels ou écran pour les câbles (Suède)
- 7.5.4: Des passerelles d'une longueur supérieure à 10 m doivent être accessibles des deux extrémités. En intérieur, les zones d'accès limité fermées dont la longueur est supérieure à 20 m doivent être accessibles par des portes des deux côtés (voir CEI 60364-7-729) (Suède)
- 7.5.8: Installations difficiles à évacuer telles que des installations souterraines, en montagne, éoliennes, par exemple, des conditions spéciales doivent être imposées pour garantir une évacuation en toute sécurité en cas d'incendie ou d'accident (Norvège)
- 7.7: La hauteur minimale H' des parties actives au-dessus des surfaces accessibles au public doit être de:

  - H' = 5 500 mm pour les tensions assignées U_m jusqu'à 24 kV

  - H' = N + 5 300 mm pour les tensions assignées U_m supérieures à 24 kV (Finlande)
- 8.2: Les parties conductrices accessibles doivent être mises à la terre. Les parties conductrices extérieures qui par défauts, induction ou influence peuvent devenir actives et représenter un danger pour les personnes ou des dommages aux biens doivent être mises à la terre (Suède)
- 8.2.1.2: La hauteur minimale des barrières de protection est de 2 300 mm (Finlande)
- 8.2.1.2: Les rails, chaînes et cordes ne sont pas admis comme obstacles (Suède)
- 8.2.2.1: Les matériels et câbles, situés en dehors des locaux de service électrique fermés, doivent être constitués d'un blindage intermédiaire mis à la terre ou être protégés contre tout contact fortuit par une mise hors d'atteinte. Par blindage intermédiaire mis à la terre, on entend enceinte métallique pour les matériels ou écran pour les câbles (Suède)
- 8.2.2.2: Les rails, chaînes et cordes ne sont pas admis comme obstacles (Suède)
- 8.2.2.2: L'utilisation d'obstacles de protection n'est pas admise dans les installations électriques des bâtiments. L'utilisation d'une mise hors d'atteinte de protection est limitée aux seules situations ne permettant pas l'emploi d'un dispositif d'isolement, d'enceintes ou de barrières (Finlande)
- 8.7.1: Le classement de résistance au feu des barrières doit être au minimum celui d'une résistance au feu de 120 minutes (Australie)
- 8.7.2: Les dimensions G1 et G2 doivent être mesurées depuis le côté intérieur du mur plutôt que depuis le point de mesure présenté aux Figures 7a) et 7b) à partir du transformateur où le mur est plus large sur le transformateur (Australie)
- 8.7.2.1: Pour les transformateurs inférieurs à 1 000 l, des conditions spéciales sont énumérées dans la norme FEF 2006 §4-9 (Norvège)
- 8.8.1.3: Il convient que la rétention des déversements s'étende de 50 % de la hauteur du transformateur (Australie)
- 8.9.1: Les panneaux d'avertissement, marquages et identificateurs doivent être en langue norvégienne et dans des cas spéciaux, le marquage complémentaire doit être rédigé dans une autre langue (Norvège)
- 10.2.1 et Annexe B: Le responsable de la santé et de la sécurité (HSE) a signalé qu'il convient que les installations de mise à la terre HT soient conçues selon les tensions tolérables sur la base des impédances du corps ne dépassant pas 5 % de la population, comme indiqué dans le Tableau 1 de la CEI 60479-1:2005 (RU)
- 10.2.1: Les tensions de contact et de pas admissibles en vigueur dans les installations de puissance doivent être conformes à la loi fédérale concernant les installations électriques (haute et basse tension) (SR 734.0) et aux réglementations applicables aux installations de puissance électriques (SR 743.2 StV) (Suisse)
- Figure 1: Les rails, chaînes et cordes ne sont pas admis comme obstacles (Suède)
- Figure 7a): Les dimensions G1 et G2 doivent être mesurées depuis le côté intérieur du mur plutôt que depuis le point de mesure présenté à la Figure 7a) à partir du transformateur où le mur est plus large sur le transformateur (Australie)
- Figure 7b): Les dimensions G1 et G2 doivent être mesurées depuis le côté intérieur du mur plutôt que depuis le point de mesure présenté à la Figure 7b) à partir du transformateur où le mur est plus large sur le transformateur (Australie)

- Article 10: Pour les exigences relatives à la mise à terre, se référer à l'AS 2067, Sous-stations et Installations Haute Tension (Australie)

Le contenu du corrigendum de mars 2011 été pris en considération dans cet exemplaire.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

Il existe de nombreuses lois nationales, normes et règles internes traitant de ce sujet et liées au domaine d'application de la présente norme; ces diverses pratiques ont été prises en compte lors des travaux.

La présente partie de la CEI 61936 contient les exigences minimales valables pour les pays membres de la CEI et des indications complémentaires assurant une fiabilité acceptable d'une installation ainsi que la sécurité de son fonctionnement.

La publication de la présente norme est censée être un pas décisif vers une cohérence progressive dans le monde entier des pratiques relatives à la conception et à la mise en œuvre des installations de puissance à haute tension.

Des exigences particulières pour les installations de transport et de distribution ainsi que pour les centrales de production et les installations industrielles sont incluses dans la présente norme.

Les lois et règlements appropriés émanant d'une autorité compétente ont la priorité.

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES EN COURANT ALTERNATIF DE PUISSANCE SUPÉRIEURE À 1 kV –

Partie 1: Règles communes

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61936 fournit des règles communes relatives à la conception et la mise en œuvre des installations électriques dans des systèmes dont les tensions nominales sont supérieures à 1 kV en courant alternatif et la fréquence nominale inférieure ou égale à 60 Hz, afin d'assurer la sécurité et le fonctionnement correct pour l'utilisation prévue.

Pour les besoins d'interprétation de la présente norme, une installation de puissance électrique est considérée comme étant l'une des suivantes:

a) Poste, y compris poste pour alimentation de réseaux ferroviaires

b) Installations électriques sur mât, pylône et tour

   Appareillage et/ou transformateurs situés à l'extérieur d'un local de service électrique fermé

c) Une ou plusieurs centrales électriques placées dans un site unique

   L'installation comprend les générateurs et les transformateurs avec tout l'appareillage et tous les auxiliaires électriques associés. Les liaisons entre les centrales situées sur des sites différents sont exclues.

d) Le réseau électrique d'une usine, installation industrielle ou autres locaux industriels, agricoles, commerciaux ou publics

e) Installations électriques mises en œuvre sur des plates-formes offshore, par exemple parcs éoliens offshore.

L'installation de puissance électrique comprend notamment les matériels suivants:

– machines électriques tournantes;
– appareillage;
– transformateurs et réactances;
– convertisseurs;
– câbles;
– canalisations;
– batteries;
– condensateurs;
– installations de mise à la terre;
– bâtiments et clôtures qui font partie d'une zone électrique fermée;
– systèmes associés de protection, de commande et auxiliaires;
– réactance élevée à noyau d'air.

NOTE Généralement, une norme traitant d'un point particulier du matériel prévaut sur la présente norme.

La présente norme ne s'applique pas à la conception et la mise en œuvre des éléments suivants:

– lignes aériennes et souterraines entre des installations différentes;
– lignes de chemin de fer électriques;

– matériels de mine et installations;

– installations d'éclairages fluorescents;

– installations sur les bateaux ~~et les plates-formes en mer;~~ conformément à la série CEI 60092 [34] et les unités offshore conformément à la série CEI 61892 [35], qui sont utilisées dans l'industrie pétrolière offshore à des fins de forage, de traitement et de stockage.

– matériels électrostatiques (par exemple, précipitateurs électrostatiques, cabines de peinture);

– stations d'essai;

– matériel médical, par exemple, équipement à rayons X.

La présente norme ne s'applique pas à la conception des appareillages préfabriqués soumis à un essai de type et des sous-stations préfabriquées à haute tension/basse tension, pour lesquels des normes spécifiques CEI existent déjà.

Cette norme ne s'applique pas aux exigences relatives aux travaux effectués sous tension sur des installations électriques.

Sauf indication contraire dans la présente norme, la série de normes CEI 60364 s'applique pour les installations électriques basse tension.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60034-1, *Machines électriques tournantes – Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*

CEI 60034-3, *Machines électriques tournantes – Partie 3: Règles spécifiques pour les alternateurs synchrones entraînés par turbines à vapeur ou par turbines à gaz à combustion*

CEI 60060-1, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 60071-1, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

CEI 60071-2:1996, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*

CEI 60076-2:1993, *Transformateurs de puissance – Partie 2: Echauffement*

CEI 60076-11, *Transformateurs de puissance – Partie 11: Transformateurs de type sec*

CEI 60079-0, *Atmosphères explosives – Partie 0: Appareils - Exigences générales*

CEI 60079-10-1, *Atmosphères explosives – Partie 10-1: Classement des emplacements – Atmosphères explosives gazeuses*

CEI 60079-10-2, *Atmosphères explosives – Partie 10-2: Classement des emplacements – Atmosphères explosives poussiéreuses*

CEI 60255 (toutes les parties), *Relais de mesure et dispositifs de protection*

CEI 60331-21, *Essais de câbles électriques soumis au feu – Intégrité des circuits – Partie 21: Procédures et prescriptions – Câbles de tension assignée jusque et y compris 0,6/1,0 kV*

CEI 60331-1, *Essais pour câbles électriques soumis au feu – Intégrité des circuits – Partie 1: Méthode d'essai au feu avec chocs pour les câbles de tension assignée au plus égale à 0,6/1,0 kV et de diamètre externe supérieur à 20 mm, à une température d'au moins 830 °C*

CEI 60332 (toutes les parties), *Essais des câbles électriques et à fibres optiques soumis au feu*

CEI 60364 (toutes les parties), *Installations électriques à basse tension*

CEI/TS 60479-1:2005, *Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques – Partie 1: Aspects généraux*

CEI 60529, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

CEI 60617, *Symboles graphiques pour schémas*

CEI 60721-2-6, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2-6: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Vibrations et chocs sismiques*

CEI 60721-2-7, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2-7: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Faune et flore*

CEI 60754-1, *Essai sur les gaz émis lors de la combustion de matériaux prélevés sur câbles – Partie 1: Détermination de la quantité de gaz acide halogéné*

CEI 60754-2, *Essai sur les gaz émis lors de la combustion des câbles électriques – Partie 2: Détermination de l'acidité des gaz émis lors de la combustion d'un matériau prélevé sur des câbles électriques par mesurage du pH et de la conductivité*

IEC/TS 60815-1, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 1: Definitions, information and general principles (disponible en anglais seulement)*

CEI 60826, *Critères de conception des lignes aériennes de transport*

CEI 60865-1, *Courants de court-circuit – Calcul des effets – Partie 1: Définitions et méthodes de calcul*

CEI 60909 (toutes les parties), *Courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif*

CEI 60949, *Calcul des courants de court-circuit admissibles au plan thermique, tenant compte des effets d'un échauffement non adiabatique*

CEI/TR 61000-5-2, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation - Section 2: Mise à la terre et câblage*

CEI 61034-1, *Mesure de la densité de fumées dégagées par des câbles brûlant dans des conditions définies – Partie 1: Appareillage d'essai*

CEI 61082-1, *Etablissement des documents utilisés en électrotechnique – Partie 1: Règles*

CEI 61100, *Classification des isolants liquides selon le point de feu et le pouvoir calorifique inférieur*

CEI 61140, *Protection contre les chocs électriques – Aspects communs aux installations et aux matériels*

CEI 61219, *Travaux sous tension – Appareil de mise à la terre ou de mise à la terre et en court-circuit utilisant des cannes comme dispositif de mise en court-circuit – Mise à la terre au moyen de cannes*

CEI 61230, *Travaux sous tension – Equipements portables de mise à la terre ou de mise à la terre et en court-circuit*

CEI 61243 (toutes les parties), *Travaux sous tension – Détecteurs de tension*

CEI/TS 61463, *Traversées – Qualification sismique*

CEI 62271-1:2007, *Appareillage à haute tension – Partie 1: Spécifications communes* Amendement 1:2011

CEI 62271-200, *Appareillage à haute tension – Partie 200: Appareillage sous enveloppe métallique pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV*

CEI 62271-201, *Appareillage à haute tension – Partie 201: Appareillage sous enveloppe isolante pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV*

CEI 62271-202, *Appareillage à haute tension – Partie 202: Postes préfabriqués haute tension/basse tension*

CEI 62271-203, *Appareillage à haute tension – Partie 203: Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tensions assignées supérieures à 52 kV*

CEI 62271-206, *Appareillage à haute tension – Partie 206: Systèmes indicateurs de présence de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV*

CEI 62271-207, *Appareillage à haute tension – Partie 207: Qualification sismique pour ensembles d'appareillages à isolation gazeuse pour des niveaux de tension assignée supérieurs à 52 kV*

CEI/TR 62271-300, *Appareillage à haute tension – Partie 300: Qualification sismique des disjoncteurs à courant alternatif*

CEI/TR 62271-303, *Appareillage à haute tension – Partie 303: Utilisation et manipulation de l'hexafluorure de soufre (SF_6)*

CEI 62305 (toutes les parties), *Protection contre la foudre*

CEI 62305-4, *Protection contre la foudre – Partie 4: Réseaux de puissance et de communication dans les structures*

CEI 82079-1, *Etablissement des instructions d'utilisation – Structure, contenu et présentation – Partie 1: Principes généraux et exigences détaillées*

Guide CEI 107, *Compatibilité électromagnétique – Guide pour la rédaction des publications sur la compatibilité électromagnétique*

Guide ISO/CEI 51, *Aspects liés à la sécurité – Principes directeurs pour les inclure dans les normes*

ISO 1996-1, *Acoustique – Description, mesurage et évaluation du bruit de l'environnement – Partie 1: Grandeurs fondamentales et méthodes d'évaluation*

Guide IEEE 80, *Guide pour la sécurité dans la mise à la terre de postes c.a.*

Guide IEEE 980, *Guide pour le stockage et le contrôle des fuites d'huiles dans les postes*

Journal officiel des communautés européennes, N°. C 62/23 du 28.02.1994: *Document d'interprétation. Prescriptions essentielles N° 2: «sécurité en cas d'incendie»*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s'appliquent.

3.1 Définitions générales

3.1.1
matériel électrique
matériel utilisé pour la production, la transformation, le transport, la distribution ou l'utilisation de l'énergie électrique, tel que machine, transformateur, appareillage, appareil de mesure, dispositif de protection, canalisation électrique, matériels d'utilisation

[CEI 60050-826:2004, 826-16-01]

3.1.2
valeur nominale
valeur d'une grandeur, utilisée pour dénommer et identifier un composant, un dispositif, un matériel ou un système

[CEI 60050-151:2001, 151-16-09]

3.1.3
tension nominale d'un réseau
valeur arrondie appropriée de la tension utilisée pour dénommer ou identifier un réseau

[CEI 60050-601:1985, 601-01-21]

3.1.4
valeur assignée
valeur d'une grandeur, utilisée à des fins de spécification, correspondant à un ensemble spécifié de conditions de fonctionnement d'un composant, dispositif, matériel ou système

[CEI 60050-151:2001, 151-16-08]

3.1.5
tension la plus élevée pour l'installation
plus grande valeur de la tension efficace entre phase pour laquelle l'installation est conçue tout en respectant son niveau d'isolation

3.1.6
zone de connexion soumise à essai
zone au voisinage des bornes du matériel qui a subi un essai de type diélectrique avec la ou les valeurs de tenue appropriées, les conducteurs concernés étant connectés aux bornes d'une manière spécifiée par le constructeur du matériel

3.1.7
distance de sectionnement d'un pôle
distance d'isolement entre contacts ouverts satisfaisant aux exigences de sécurité concernant les sectionneurs

[CEI 60050-441:1984, 441-17-35]

3.1.8
sectionnement
coupure ou déconnexion d'une installation, d'une partie d'installation ou d'un matériel à partir de tous les conducteurs non mis à la terre par la création d'intervalles ou de distances d'isolement

3.1.9
partie active
conducteur ou partie conductrice destiné à être sous tension en service normal, y compris le conducteur de neutre, mais par convention, excepté le conducteur PEN, le conducteur PEM ou le conducteur PEL

[CEI 60050-195:1998, 195-02-19]

NOTE 1 La notion n'implique pas nécessairement un risque de choc électrique.

NOTE 2 Pour les définitions de PEM et de PEL, voir la CEI 60050-195:1998,195-02-13 et la CEI 60050-195:1998, 195-02-14.

3.1.10
artère
ligne électrique issue d'un poste principal, alimentant un ou plusieurs postes secondaires ou une ou plusieurs lignes secondaires ou encore une association des deux

[CEI 60050-601:1985, 601-02-08, modifiée]

3.1.11
ferro-résonance
résonance entre la capacitance d'un appareil et l'inductance du circuit magnétique saturable d'un appareil voisin

[CEI 60050-604:1987, 604-01-14]

3.1.12
surtension transitoire
surtension de courte durée, ne dépassant pas quelques millisecondes, oscillatoire ou non, généralement fortement amortie

[CEI 60050-604, Amendement 1:1998, 604-03-13]

3.1.13
haute tension
tension supérieure à 1 000 V en courant alternatif

3.1.14
basse tension
tension inférieure à 1 000 V en courant alternatif

3.1.15
exploitation
ensemble des activités, incluant à la fois les travaux électriques et non-électriques, nécessaires pour permettre le fonctionnement d'une installation électrique

NOTE Ces activités comprennent les manœuvres, le contrôle, la surveillance et la maintenance.

3.1.16
conditions normales de fonctionnement
toutes conditions de fonctionnement fréquemment rencontrées

NOTE Cela inclut les conditions assignées d'exploitation, les conditions maximales et minimales, les charges partielles, les transitoires normales (démarrage, arrêt, variations de charge) et les situations d'attente.

3.1.17
conditions anormales de fonctionnement
conditions de fonctionnement rares (seulement quelques fois au cours de la vie du matériel)

NOTE Cela inclut les erreurs humaines, pertes d'alimentation, surtensions, séismes, etc. Après de telles conditions d'exploitation, une inspection de ces matériels peut être exigée.

3.1.18
travaux électriques
travaux sur, avec ou à proximité d'une installation de puissance tels que essais et mesures, réparations, remplacements, modifications, extensions, mise en œuvre et inspections

3.2 Définitions concernant les installations

3.2.1
local électrique fermé
salle ou local destiné à l'exploitation des installations et des matériels électriques dont l'accès est réservé aux personnes qualifiées ou instruites ou aux autres personnes sous la surveillance de personnes qualifiées ou instruites, par exemple par ouverture d'une porte ou enlèvement d'une barrière de protection seulement à l'aide d'une clé ou d'un outil et qui sont clairement identifiés par des panneaux d'avertissement appropriés

3.2.2
locaux de service soumis à un risque d'incendie
salles, locaux ou emplacements intérieurs ou extérieurs, où existe un danger dû aux conditions locales ou de fonctionnement par lesquelles des quantités dangereuses de matériaux facilement inflammables peuvent se trouver suffisamment proches des matériels électriques pour créer un risque d'incendie dû à la température élevée du matériel ou à un arc

3.2.3
fosse de récupération
réceptacle destiné à recueillir l'isolant liquide d'un transformateur ou de tout autre appareil en cas de fuite

[CEI 60050-605:1983, 605-02-30, modifiée]

3.2.4
réservoir de récupération
réservoir destiné à recevoir les fuites de liquide, l'eau de pluie, etc. pour un ou plusieurs transformateurs ou tout autre appareil

3.2.5
jeu de barres
conducteur associé à des connexions, jonctions et supports isolés formant une connexion électrique commune entre un certain nombre de circuits ou des éléments individuels des appareillages

3.3 Définitions concernant les types d'installations

3.3.1
poste
partie d'un réseau électrique, située en un même lieu, comprenant principalement les extrémités des lignes de transport ou de distribution, de l'appareillage électrique, des bâtiments et, éventuellement, des transformateurs. Un poste comprend généralement les dispositifs destinés à la sécurité et à la conduite du réseau (par exemple les protections)

NOTE Selon le type de réseau auquel appartient le poste, il peut être qualifié par la désignation du réseau.

EXEMPLE Poste de transport (d'un réseau de transport), poste de distribution, poste à 400 kV, poste à 20 kV.

[CEI 60050-605:1983, 605-01-01]

3.3.2
centrale électrique
équipement destiné à la production d'énergie électrique et qui comprend les ouvrages de génie civil, de conversion énergétique ainsi que l'appareillage associé

[CEI 60050-602:1983, 602-01-01]

3.3.3
installations ouvertes
installations dans lesquelles le matériel n'est pas protégé contre les contacts directs

3.3.4
installations sous enveloppe
installations dans lesquelles le matériel possède une protection contre les contacts directs

NOTE Pour les degrés de protection procurés par les enveloppes, voir la CEI 60529.

3.3.5
"cellule" ou "compartiment" d'appareillage
toute partie d'un jeu de barres dans une installation

3.4 Définitions concernant les mesures de protection contre les chocs électriques

3.4.1
protection contre les contacts directs
mesures qui empêchent les personnes d'approcher des parties actives dangereuses ou des zones où il existe un risque de tension dangereuse avec des parties de leurs corps ou des objets (atteignant la zone dangereuse)

3.4.2
protection contre le contact indirect
protection des personnes contre les dangers susceptibles de résulter, en cas de défaut, d'un contact avec des parties conductrices accessibles de matériel électrique ou autres parties conductrices

3.4.3
enveloppe
enceinte assurant la protection du matériel contre certaines influences externes et, dans toute direction, la protection contre les contacts directs

3.4.4
barrière de protection
partie assurant la protection contre les contacts directs dans toute direction habituelle d'accès

[CEI 60050-195:1998, 195-06-15]

3.4.5
obstacle de protection
élément empêchant un contact direct fortuit mais ne s'opposant pas à un contact direct par une action délibérée

[CEI 60050-195:1998, 195-06-16]

3.5 Définitions concernant les espaces libres

3.5.1
distance d'isolement
distance entre deux parties conductrices le long d'un fil tendu suivant le plus court trajet possible entre ces deux parties conductrices

[CEI 60050-441:1984, 441-17-31]

3.5.2
espace libre minimal
plus petite distance d'isolement admissible dans l'air entre des parties actives ou entre des parties actives et la terre

3.5.3
distance d'isolement d'une barrière de protection
plus petite distance d'isolement admissible entre une barrière de protection et les parties actives ou des parties susceptibles d'être soumises à une tension dangereuse

3.5.4
distance d'isolement d'un obstacle de protection
plus petite distance d'isolement admissible entre un obstacle de protection et les parties actives ou les parties susceptibles d'être soumises à une tension dangereuse

3.5.5
zone dangereuse
zone limitée par la distance d'isolement minimale (D_L) autour des parties actives sans protection complète contre les contacts directs (voir Figure 3)

NOTE Atteindre la zone dangereuse est considéré comme analogue à un contact avec des parties actives.

3.5.6
zone de proximité
zone entourant une zone dangereuse, dont la limite extérieure est la distance D_V (voir Figure 3).

NOTE 1 La limite extérieure de la zone de proximité dépend de la tension de la partie active.

NOTE 2 Les travaux dans la zone de proximité sont ceux effectués par un travailleur soit dans la zone soit en pouvant toucher des parties par le corps ou des outils, des matériels et dispositifs pouvant être manipulés, mais sans qu'il entre dans la zone dangereuse.

3.5.7
distance de travail
distance minimale de sécurité (D_W) à respecter entre les parties actives normalement accessibles et toute personne ayant à intervenir dans un poste ou tout outil conducteur tenu à la main (voir Figure 3)

[CEI 60050-605:1983, 605-02-25, modifiée]

NOTE 1 Les valeurs pour les personnes habilitées ou instruites en électricité sont indiquées à la Figure 3. Cela se réfère aux seuls travaux hors tension. Des définitions particulières pour les travaux sous tension sont données dans la CEI 60050-651.

NOTE 2 En Europe, le terme «distance minimale de travail» est utilisé au lieu de «distance de travail».

3.5.8
distance d'isolement d'une clôture
plus petite distance d'isolement admissible entre une clôture extérieure et les parties actives ou les parties susceptibles d'être soumises à une tension dangereuse

3.5.9
hauteur minimale

plus petite distance verticale admissible entre les surfaces accessibles et les parties actives sans protection contre les contacts directs ou des parties susceptibles d'être soumises à une tension dangereuse (voir Figure 3)

3.6 Définitions concernant la commande et la protection

3.6.1
dispositif de verrouillage
dispositif qui subordonne la possibilité de fonctionnement d'un appareil de connexion à la position ou au fonctionnement d'un ou de plusieurs autres éléments de l'équipement

[CEI 60050-441:1984, 441-16-49]

3.6.2
commande directe
commande d'une manœuvre, effectuée à partir d'un point situé sur l'appareil de connexion commandé ou dans le voisinage immédiat de celui-ci

[CEI 60050-441:1984, 441-16-06]

3.6.3
commande à distance
télécommande
commande d'une manœuvre, effectuée à partir d'un point éloigné de l'appareil de connexion commandé

[CEI 60050-441:1984, 441-16-07]

3.6.4
réenclenchement automatique
refermeture du disjoncteur associé à une fraction de réseau affectée d'un défaut, par un dispositif automatique après un intervalle de temps permettant la disparition d'un défaut fugitif

[CEI 60050-604:1987, 604-02-32]

3.7 Définitions concernant la mise à la terre

3.7.1
terre (locale)
partie de la Terre en contact électrique avec une prise de terre, et dont le potentiel électrique n'est pas nécessairement égal à zéro

NOTE Le potentiel électrique de tout point de la masse conductrice de la terre est pris, par convention, égal à zéro.

[CEI 60050-195:1998, 195-01-03, modifiée]

3.7.2
terre de référence
terre de référence (terre distante)
partie de la Terre considérée comme conductrice, dont le potentiel électrique est pris, par convention, égal à zéro, étant hors de la zone d'influence de l'installation de mise à la terre concernée

NOTE La notion de «Terre» se réfère à la planète et à toute la matière dont elle est composée.

[CEI 60050-195:1998, 195-01-01, modifiée]

3.7.3
prise de terre
électrode de terre
partie conductrice pouvant être incorporée dans un milieu conducteur particulier, par exemple béton ou coke, en contact électrique avec la Terre

[CEI 60050-195:1998, 195-02-01]

3.7.4
conducteur de (mise à la) terre
conducteur assurant un chemin conducteur, ou une partie du chemin conducteur, entre un point donné d'un réseau, d'une installation, ou d'un matériel et une prise de terre

[CEI 60050-195:1998, 195-02-03]

NOTE Si la connexion entre une partie de l'installation et l'électrode de terre est assurée par une barrette de coupure, un sectionneur, un compteur ou un intervalle de décharge d'un parafoudre, etc., seule la partie de la connexion attachée de façon permanente à l'électrode de terre est un conducteur de mise à la terre.

3.7.5
conducteur d'équipotentialité de protection
conducteur de protection assurant une liaison équipotentielle

3.7.6
installation de mise à la terre
ensemble des connexions et des dispositifs qui sont nécessaires pour mettre à la terre séparément ou collectivement un appareil ou une installation

[CEI 60050-604:1987, 604-04-02]

3.7.7
piquet de terre
électrode de terre constituée d'une tige métallique enfoncée dans le sol

[CEI 60050-604:1987, 604-04-09]

3.7.8
prise de terre de fait
partie métallique qui est en contact avec la terre ou avec l'eau, directement ou par l'intermédiaire du béton, et qui n'est pas destinée à la mise à la terre mais qui satisfait à toutes les exigences d'une prise de terre sans modifier sa destination

NOTE Des exemples de structures faisant office de prise de terre sont des conduites métalliques, des plaques de fondation, des armatures de poteaux en béton, des parties métalliques des bâtiments, etc.

3.7.9
résistivité électrique du sol

ρ_E
résistivité d'un échantillon typique du sol

3.7.10
résistance de terre
R_E
partie réelle de l'impédance de terre

3.7.11
impédance de terre
Z_E
impédance pour une fréquence donnée entre un point spécifié d'un réseau, d'une installation ou d'un matériel et la terre de référence

NOTE L'impédance de terre est déterminée non seulement par les prises de terre directement connectées, mais également par les mises à la terre des lignes aériennes interconnectées, par des câbles de garde des lignes aériennes, par des câbles avec écran et par toutes autres installations de mise à la terre, reliées à l'installation de mise à la terre concernée, par des gaines conductrices, des blindages, des conducteurs PEN ou de toute autre manière.

3.7.12
élévation du potentiel de terre
EPR[2]
U_E
tension entre une installation de mise à la terre et la terre de référence

3.7.13
potentiel
tension entre un point d'observation et la terre de référence

3.7.14
tension de contact (effective)
U_T
tension entre des parties conductrices touchées simultanément

NOTE La valeur de la tension de contact effective peut être sensiblement influencée par l'impédance de la personne en contact électrique avec ces parties conductrices.

[CEI 60050-195:1998, 195-05-11, modifiée]

3.7.15
tension de contact présumée
U_{vT}
tension apparaissant entre des parties conductrices simultanément accessibles quand ces parties conductrices ne sont pas touchées

[CEI 60050-195:1998, 195-05-09, modifiée]

3.7.16
tension de pas
U_S
tension entre deux points de la surface de la Terre distants de 1 m, ce qui est considéré comme la longueur de l'enjambée d'une personne

[CEI 60050-195:1998, 195-05-12]

3.7.17
transfert de potentiel
élévation du potentiel de l'installation de mise à la terre provoquée par un courant à la terre transmis au moyen d'un conducteur (par exemple, gaine métallique de câble, conducteur PEN, tuyau, rail) entre les zones avec faible élévation ou sans élévation de potentiel à la terre de

---

2 EPR = *earth potential rise*.

référence, de sorte qu'une différence de potentiel puisse apparaître entre le conducteur et son environnement

NOTE Cette définition s'applique également à un conducteur venant de la terre de référence et conduisant à la zone de l'élévation de potentiel.

3.7.18
tension de contrainte
tension apparaissant dans des conditions de défaut à la terre entre une partie mise à la terre ou une enveloppe du matériel ou de l'appareil et une quelconque de ses parties susceptible d'affecter le fonctionnement normal ou la sécurité

3.7.19
installation de mise à la terre globale
installation équivalente de mise à la terre créée par l'interconnexion d'installations de mise à la terre locales qui assure, par le voisinage des installations de mise à la terre, l'absence de tension de contact dangereuse

NOTE 1 De telles mises à la terre permettent la répartition du courant de défaut à la terre de telle sorte que l'élévation de potentiel dans l'installation locale de mise à la terre est réduite. Une telle mise à la terre peut former une surface quasi équipotentielle.

NOTE 2 L'existence d'une mise à la terre globale peut être déterminée par des mesures ou des calculs pour les systèmes typiques. Des exemples typiques de mise à la terre globale sont les centres villes, les zones urbaines ou industrielles ayant des installations de mise à la terre basse et haute tension.

3.7.20
conducteur de neutre HT mis à la terre en des points multiples
conducteur neutre d'une ligne de distribution connecté à l'installation de mise à la terre du transformateur et mis à la terre régulièrement

3.7.21
partie conductrice accessible
masse (dans une installation électrique)
partie conductrice d'un matériel, susceptible d'être touchée et qui n'est pas normalement sous tension mais peut le devenir lorsque l'isolation principale est défaillante

[CEI 60050-826:2004, 826-12-10]

3.7.22
élément conducteur étranger (à l'installation électrique)
élément ne faisant pas partie de l'installation électrique et susceptible de propager un potentiel électrique, généralement celui de la terre

[CEI 60050-826:2004, 826-12-11, modifiée]

3.7.23
conducteur PEN
conducteur assurant à la fois les fonctions de conducteur de mise à la terre de protection et de conducteur de neutre

[CEI 60050-826:2004, 826-13-25]

3.7.24
défaut à la terre
défaut dû à un conducteur ayant un point à la terre ou à une résistance d'isolement devenue inférieure à une valeur spécifiée

[CEI 60050-151:1978[3], 151-03-40]

NOTE Des défauts à la terre de deux ou plusieurs conducteurs de phase du même réseau en différents emplacements sont appelés défauts doubles ou multiples.

3.7.25
courant de défaut à la terre
I_F
courant qui circule du circuit principal à la terre ou aux parties mises à la terre à l'emplacement du défaut (emplacement du défaut à la terre).

NOTE 1 Pour des défauts simples à la terre, ce courant est

- dans les schémas avec neutre isolé, le courant capacitif de défaut à la terre,
- dans les schémas avec mise à la terre d'impédance élevée, le courant composé résistif et capacitif de défaut à la terre,
- dans les schémas avec neutre compensé, le courant résiduel de défaut à la terre,
- dans les schémas avec neutre faiblement impédant, le courant de court-circuit phase-terre,

NOTE 2 Un autre courant de défaut à la terre peut résulter d'un double défaut à la terre et d'un défaut biphasé-terre.

3.7.26
courant de circulation dans le neutre du transformateur
partie du courant de défaut retournant au neutre du transformateur par les parties métalliques et/ou l'installation de mise à la terre sans s'écouler dans le sol

4 Exigences fondamentales

4.1 Généralités

4.1.1 Exigences générales

Les installations et les matériels doivent pouvoir supporter les contraintes électriques, mécaniques, climatiques et les influences externes prévisibles sur le site.

La conception doit prendre en compte:

– le but de l'installation,
– les exigences des utilisateurs telles que la qualité de l'énergie, sa fiabilité, sa disponibilité, et la capacité du réseau électrique à résister aux effets transitoires tels que le démarrage de moteurs de puissance, les microcoupures et la ré-alimentation de l'installation,
– la sécurité des opérateurs et du public,
– les influences externes,
– les possibilités d'extension (si exigées) et la maintenance.

L'utilisateur doit définir les préférences des dispositions spécifiques de maintenance et identifier les exigences de sécurité à mettre en place pour les niveaux de sélectivité de l'appareillage afin d'assurer la coupure minimale de l'installation. Lorsque cela est nécessaire, les niveaux de sélectivité de l'appareillage doivent être tels qu'ils minimisent la diffusion d'un défaut, y compris un incendie, survenant dans un module défini quelconque dans les modules adjacents.

Il peut apparaître des conditions de fonctionnement rares ou dont les durées cumulées sont faibles pour lesquelles un accord entre l'utilisateur et le constructeur sur des critères spécifiques de conception peut être nécessaire. Dans de tels cas, les mesures requises pour

---

[3] La CEI 60050-151:1978 a été remplacée en 2001, toutefois, pour cette définition (151-03-40) la publication de 1978 est applicable.

prévenir les conditions dangereuses et éviter tout dommage au matériel électrique ou à l'installation doivent être prises.

Les générateurs doivent être capables de satisfaire aux exigences de raccordement du réseau de distribution ou du réseau local, par exemple, pour la réglementation de la tension, la réponse en fréquence, etc.

4.1.2 Accords entre fournisseur (constructeur) et utilisateur

Les processus d'exploitation de l'utilisateur doivent être pris en compte pour la conception de l'installation.

Pour la conception et la mise en œuvre d'installations de puissance, des accords complémentaires entre le constructeur / entrepreneur / planificateur et l'utilisateur / maître d'œuvre / propriétaire doivent être appliqués, pouvant également influencer les exigences d'exploitation nécessaires. Les références peuvent être trouvées dans les paragraphes suivants:

Paragraphe	Sujet
4.1.1	Exigences générales (critères de conception spécifiques)
4.2.2	Classification des tensions
4.3.9	Conditions particulières et exigences relatives aux régions à environnement sismique
4.4.2.1	Conditions climatiques et environnementales (pour les matériels auxiliaires: intérieurs)
4.4.2.2	Conditions climatiques et environnementales (pour les matériels auxiliaires: extérieurs)
4.4.3.1	Conditions différentes des conditions environnementales normales
4.4.3.5	Conditions particulières et exigences relatives aux vibrations
6.1.2	Conformité avec les procédures de fonctionnement et de sécurité
6.2.1	Méthode d'indication (position du contact de l'interrupteur ou du sectionneur)
6.2.1	Interverrouillage et/ou verrouillage
6.2.1	Dispositifs de commutation (caractéristiques assignées réduites)
6.2.1	Caractéristiques assignées de l'appareillage (exigences spécifiques)
6.2.8	Niveau de pollution
6.2.8	Isolateurs extérieurs dans des conditions de pollution ou d'humidité importante
6.2.9.1	Câbles isolés (échauffement)
7.1	Plus grandes valeurs pour les distances, espaces libres et dimensions
7.1	Installations (procédures de fonctionnement)
7.1.2	Documentation (importance de la documentation)
7.1.3	Voies de circulation (capacité de portance, hauteur et largeur)
7.1.5	Eclairage (présence et importance de l'éclairage)
7.5.4	Zones d'exploitation et de maintenance (distances et issue de secours)
8.4	Dispositions de protection des personnes travaillant sur des installations électriques (procédures de travail)
8.4.3	Dispositifs de vérification de l'absence de tension (mise en place des dispositions)
8.4.4	Dispositifs de mise à la terre et en court-circuit (mise en place des dispositions ou fournitures)
8.4.5.1	Matériels agissant comme barrières de protection contre les parties actives voisines (mise en place de parois isolées mobiles)
8.4.5.2	Matériels agissant comme barrières de protection contre les parties actives voisines (mise en place de cloisons de séparation mobiles)
8.5	Protection contre les dangers provenant d'un défaut d'arc (degré d'importance des mesures)
8.6	Protections contre les coups de foudre directs (méthode d'analyse)

Paragraphe	Sujet
8.7.1	Exigences pour les matériels d'extinction d'incendie
8.7.2.1	Réduction des distances G_1/G_2
9.1	Systèmes de commande et de contrôle (accord sur le niveau de défectuosité et des études de protection)
9.3	Système d'air comprimé (coupure pour maintenance)
9.4	Installations de manipulation du gaz SF_6 (conception et capacité de l'installation)
10.2.1	Exigences fondamentales relatives à la conception de l'installation de mise à la terre
11	Essai et vérifications (mise en place des vérifications et essais / spécifications / documentation)
11.3	Essais lors de l'installation et la remise d'ouvrage (exigences / matériel d'essai / programme d'essais)
11.4	Essai de fonctionnement (performance)

4.2 Exigences électriques

4.2.1 Méthodes de mise à la terre du neutre

La méthode de mise à la terre du neutre influence fortement le niveau et la durée du courant de défaut. Par ailleurs, la méthode de mise à la terre du neutre est importante pour ce qui concerne les caractéristiques suivantes:

– le choix du niveau d'isolement;
– les caractéristiques des appareils limitant les surtensions, comme des éclateurs ou des parafoudres;
– le choix des relais de protection;
– la conception de l'installation de mise à la terre.

Exemples de méthodes de mise à la terre du neutre:

– schéma à neutre isolé;
– schéma à neutre compensé;
– schéma à la terre d'impédance élevée;
– schéma à neutre faiblement impédant.

Le choix du type de mise à la terre du neutre est normalement basé sur les critères suivants:

– la réglementation locale (si elle existe);
– la continuité de l'alimentation nécessaire pour le réseau;
– la limitation des dommages subis par les matériels en cas de défaut à la terre;
– l'élimination sélective des portions de réseau en défaut;
– la localisation des défauts;
– les tensions de contact et de pas;
– les interférences induites;
– les aspects opérationnels et de maintenance.

Un réseau raccordé galvaniquement a uniquement une seule méthode de mise à la terre du neutre. Différents réseaux galvaniquement indépendants peuvent avoir des méthodes différentes de mise à la terre du neutre. Si différentes configurations de mise à la terre du neutre peuvent survenir en condition de fonctionnement normale ou non, les matériels et systèmes de protection doivent être conçus de manière à pouvoir fonctionner dans de telles conditions.

4.2.2 Classification des tensions

Les utilisateurs doivent définir la tension nominale et la tension maximale de fonctionnement de leur réseau. A partir de la tension maximale de fonctionnement, la plus grande tension pour l'installation (U_m) doit être choisie dans le Tableau 1, le Tableau 2 ou l'Annexe A.

4.2.3 Courant en fonctionnement normal

Chaque partie d'une installation doit être conçue et mise en œuvre afin de supporter les courants dans les conditions de fonctionnement définies.

4.2.4 Courant de court-circuit

Les installations doivent être conçues, disposées et mises en œuvre pour pouvoir supporter sans dommage les contraintes mécaniques et thermiques provoquées par les courants de court-circuit.

NOTE 1 Lorsqu'une installation possède une production sur site, des moteurs ou un fonctionnement en parallèle avec un réseau (co-génération), les niveaux de défectuosité peuvent augmenter.

Pour les besoins de la présente norme, tous les types de court-circuit doivent être pris en compte, par exemple:

– défaut triphasé;
– défaut biphasé;
– défaut monophasé (phase-terre);
– défaut biphasé-terre.

Les installations doivent être protégées par des dispositifs automatiques pour interrompre les courts-circuits triphasés et biphasés.

Les installations doivent être protégées soit par des dispositifs automatiques destinés à couper les courants de défaut à la terre, soit par des appareils signalant toute condition de défaut à la terre. Le choix du dispositif dépend de la méthode de mise à la terre du neutre.

La valeur normalisée de la durée assignée de court-circuit est de 1,0 s.

NOTE ~~1~~2 Si une valeur différente de 1 s est appropriée, les valeurs recommandées seraient de 0,5 s, 2,0 s ou 3,0 s.

NOTE ~~2~~3 Il convient de déterminer la durée assignée en tenant compte du temps d'élimination des défauts.

Les méthodes de calcul des courants de court-circuit dans les installations triphasées à courant alternatif sont décrites dans la série CEI 60909.

Les méthodes de calcul des effets du courant de court-circuit sont décrites dans la CEI 60865-1 et, pour les câbles d'énergie, dans la CEI 60949.

4.2.5 Fréquence assignée

Les installations doivent être conçues en fonction de la fréquence assignée du réseau dans lequel elles doivent fonctionner.

4.2.6 Effet couronne

Les installations doivent être conçues de manière à ce que les perturbations radioélectriques dues aux champs électromagnétiques ne dépassent pas un niveau spécifié, par exemple causées par des effets couronnes.

NOTE 1 Les documents CISPR 18-1, CISPR 18-2 et CISPR 18-3[1],[2],[3][4] contiennent des recommandations en vue de minimiser les perturbations radioélectriques des installations à haute tension.

NOTE 2 Les niveaux maximum admissibles des perturbations radioélectriques peuvent être fixés par les autorités nationales ou locales.

NOTE 3 Des lignes directrices sur les niveaux de tension acceptables des perturbations radioélectriques pour l'appareillage sont indiquées dans la CEI 62271-1:2007.

Lorsque la valeur acceptable est dépassée, le niveau de l'effet couronne peut être contrôlé, par exemple, par l'installation d'anneaux couronnes ou le renforcement de connecteurs des jeux de barre haute tension, de leurs supports, des raccords de barres et des bornes de matériel.

4.2.7 Champs électriques et magnétiques

Une installation doit être conçue de manière à limiter les champs électriques et magnétiques générés par le matériel de puissance à un niveau acceptable pour les personnes exposées.

NOTE La réglementation nationale et/ou internationale peut spécifier les niveaux acceptables. Des informations complémentaires sont disponibles auprès de la Commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) ou de l'IEEE.

4.2.8 Surtensions

Les matériels doivent être protégés contre les surtensions provenant des manœuvres ou des coups de foudre pouvant dépasser les valeurs de tenue au choc conformément à la CEI 60071-1 et à la CEI 60071-2:1996.

4.2.9 Harmoniques

Il convient de considérer les effets des harmoniques de courant et de tension sur l'installation, par exemple, dans les installations industrielles. Une analyse des harmoniques peut être nécessaire pour déterminer les mesures de correction à appliquer pour satisfaire à la réglementation locale et/ou assurer un fonctionnement correct de l'ensemble du réseau électrique.

4.3 Exigences mécaniques

4.3.1 Matériels et structures de support

Les matériels et les structures de support, y compris leurs fondations, doivent supporter les contraintes mécaniques prévisibles.

Deux cas de charges doivent être considérés, à savoir un cas de charge normale et un cas de charge exceptionnelle. Dans chacun de ces cas de charge, plusieurs combinaisons doivent être analysées, et le cas le plus défavorable doit être utilisé pour déterminer la tenue mécanique des structures.

Pour le cas de charge normale, les charges suivantes doivent être prises en considération:

– poids propre;
– charge de tension mécanique;
– charge de mise en œuvre;
– charge de glace;
– charge due au vent.

---

4 Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

~~NOTE 1 Il peut se révéler nécessaire de considérer~~ Les contraintes temporaires et les charges pouvant être appliquées lors de la construction ou des procédures de ~~la~~ maintenance doivent être considérées. Des ~~matériels~~ équipements particuliers peuvent être affectés par des charges cycliques et des contraintes dues à des dilatations thermiques (se référer aux normes concernant ces ~~matériels~~ équipements particuliers).

Pour le cas de charge exceptionnelle, le poids propre et la charge de tension mécanique agissant simultanément avec la plus grande des charges occasionnelles suivantes doivent être pris en considération:

– efforts dus aux manœuvres;
– forces de court-circuit;
– perte de la tension mécanique d'un conducteur
– charges sismiques.

~~NOTE 2 Il convient de prendre en compte la probabilité de charge sismique lors du calcul du cas de charge exceptionnelle. Voir aussi 4.4.3.5.~~

4.3.2 Charge de tension mécanique

La charge de tension mécanique doit être calculée sur la base de la tension mécanique maximale d'un conducteur dans les conditions locales les plus défavorables.

A titre d'exemple, voici quelques combinaisons possibles:

- –20 °C, sans glace et sans vent;
- –5 °C, avec glace et sans vent;
- +5 °C, avec vent.

4.3.3 Charge de mise en œuvre

La charge de mise en œuvre est une force d'au moins 1,0 kN appliquée à l'endroit le plus contraignant d'une structure de support, portique d'arrêt, etc.

4.3.4 Charge de glace

Dans les régions où peut se former de la glace, la charge qui en résulte sur les conducteurs souples comme sur les jeux de barres ou conducteurs rigides doit être prise en compte.

En l'absence de relevés locaux ou de statistiques, des épaisseurs de glace de 1 mm, 10 mm ou 20 mm selon les critères donnés dans la CEI 62271-1:2007 peuvent être prises en compte. La densité de la glace est prise égale à 900 kg/m^3 conformément à la CEI 60826.

4.3.5 Charge due au vent

Les charges dues au vent, qui peuvent être très différentes selon les caractéristiques topographiques locales et la hauteur des structures au-dessus du sol environnant, doivent être prises en compte. La direction du vent la plus défavorable doit être considérée.

La CEI 62271-1:2007 comporte les exigences relatives aux charges dues au vent auxquelles sont soumis les appareillages.

4.3.6 Efforts dus aux manœuvres

Les efforts dus aux manœuvres doivent être pris en compte au moment de la conception des supports. Ces efforts doivent être déterminés par le concepteur du matériel.

4.3.7 Forces de court-circuit

Une estimation des effets mécaniques d'un court-circuit peut être faite selon les méthodes détaillées dans la CEI 60865-1.

NOTE La brochure technique de la CIGRÉ «Mechanical effects of short-circuit currents in open air substations» (Effets mécaniques des courants de court-circuit dans des postes ouverts) propose un complément d'information.

4.3.8 Perte de la tension mécanique d'un conducteur

Une structure sur laquelle viennent s'accrocher des chaînes d'isolateurs doit être conçue pour résister à la perte de la tension mécanique d'un conducteur, résultant de la rupture de l'isolateur ou du conducteur responsable du cas de charge le plus défavorable.

NOTE 1 En général, il est de pratique courante de retenir pour la base de calcul 0 °C, sans charge de glace ni charge due au vent.

NOTE 2 Dans le cas de conducteurs en faisceau, la rupture d'un seul conducteur est prise comme hypothèse.

4.3.9 ~~Vibrations~~ Charges sismiques

~~Les vibrations dues au vent, aux contraintes électromagnétiques et au trafic (par exemple, routier ou ferroviaire temporaires) doivent être prises en compte. La capacité d'un matériel à résister aux vibrations doit être donnée par le constructeur.~~

Les conditions et les exigences particulières doivent faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur. (Voir aussi 4.4.3.5 Vibrations).

Les installations situées dans des régions à environnement sismique doivent être conçues en prenant en compte ces conditions.

Lorsque des spécifications de charge s'appliquent à des travaux de génie civil ou à des matériels répondant à des conditions sismiques, ces spécifications doivent alors être respectées.

Les charges sismiques doivent être traitées conformément aux normes appropriées relatives aux installations électriques: par exemple la CEI 62271-207 pour les ensembles d'appareillages à isolation gazeuse, la CEI/TR 62271-300 pour les disjoncteurs et la CEI/TS 61463 pour les traversées.

Les mesures suivantes doivent être prises en compte:

a) Tout matériel individuel doit être conçu pour résister aux forces dynamiques dues aux mouvements verticaux et horizontaux du sol. Ces effets peuvent être modifiés par la réponse de la fondation et/ou des supports et/ou du sol supportant ces matériels. Le spectre de réponse du séisme doit être pris en compte lors de la conception des matériels.
b) La disposition doit être choisie afin de limiter les charges dues aux interconnexions entre des dispositifs adjacents devant supporter des mouvements, relativement importants, axiaux, latéraux, de torsion ou autres, à des valeurs acceptables. Il convient d'accorder une attention particulière aux autres contraintes pouvant se développer au cours d'un séisme.

4.3.10 Dimensionnement des structures de support

Le dimensionnement des structures de support doit être établi conformément aux codes et normes applicables. Des coefficients de sécurité sont donnés dans les règlements nationaux.

4.4 Conditions climatiques et environnementales

4.4.1 Généralités

Les installations, y compris tous les appareils et matériels auxiliaires qui font partie intégrante de celles-ci, doivent être conçues pour fonctionner dans les conditions climatiques et environnementales présentées ci-après.

La présence de condensation, projection de liquide, particules, poussières, éléments corrosifs et atmosphères dangereuses doit être spécifiée afin de pouvoir choisir les matériels électriques appropriés. La classification en zones dangereuses doit être effectuée conformément à la CEI 60079-10-1 et à la CEI 60079-10-2. Le matériel peut être choisi conformément à la série CEI 60721.

4.4.2 Conditions normales

4.4.2.1 Intérieur

a) La température ambiante de l'air ne dépasse pas 40 °C, et sa valeur moyenne, mesurée sur une période de 24 h, ne dépasse pas 35 °C.

   Les températures ambiantes minimales de l'air sont les suivantes:

   - –5 °C pour la classe « –5° à l'intérieur »,
   - –15 °C pour la classe « –15° à l'intérieur » et
   - –25 °C pour la classe « –25° à l'intérieur ».

   Pour les matériels auxiliaires, tels que relais et contacteurs destinés à être utilisés à une température ambiante inférieure à –5 °C, un accord entre le fournisseur et l'utilisateur est nécessaire.

b) L'influence du rayonnement solaire peut être négligée.

c) L'altitude ne dépasse pas 1 000 m au-dessus du niveau de la mer.

d) L'air ambiant n'est pas pollué de manière significative par la poussière, la fumée, des gaz corrosifs et/ou inflammables, des vapeurs ou du sel.

e) La valeur moyenne de l'humidité relative, mesurée sur une période de 24 h, ne dépasse pas 95 %.

   Dans ces conditions, une condensation peut apparaître de manière occasionnelle.

   NOTE 1 Une condensation peut apparaître lors de variations subites de température au cours de périodes à fort taux d'humidité.

   NOTE 2 Pour éviter le claquage de l'isolation et/ou la corrosion de parties métalliques en raison d'une humidité élevée ainsi que de la condensation, il convient d'utiliser les matériels conçus pour de telles conditions et soumis à essai en conséquence.

   NOTE 3 La condensation peut être évitée par une conception particulière de l'enveloppe ou du bâtiment, par une ventilation et un chauffage adéquats du poste ou par l'utilisation d'un déshumidificateur.

f) Les vibrations dues à des causes externes pour les matériels ou à des tremblements de terre sont négligeables.

g) Il convient de considérer les perturbations électromagnétiques telles que décrites dans le Guide 107 de la CEI.

4.4.2.2 Extérieur

a) La température ambiante de l'air ne dépasse pas 40 °C, et sa valeur moyenne, mesurée sur une période de 24 h, ne dépasse pas 35 °C.

   Les températures ambiantes minimales de l'air sont les suivantes:

   - –10 °C pour la classe "–10° à l'extérieur",
   - –25 °C pour la classe "–25° à l'extérieur",

- –30 °C pour la classe “–30° à l’extérieur” et
- –40 °C pour la classe “–40° à l’extérieur”.

Il convient de prendre en compte des variations rapides de température.

Les matériels auxiliaires tels que relais et contacteurs, destinés à être utilisés à des températures ambiantes inférieures à –5 °C, doivent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

b) Il convient de tenir compte du rayonnement solaire jusqu’à 1 000 W/m^2 (à midi par temps clair).

NOTE 1 Dans certaines conditions de rayonnement solaire, des mesures appropriées, par exemple toiture, ventilation forcée, etc. peuvent être nécessaires, ou un déclassement peut être utilisé afin de ne pas dépasser les élévations de températures spécifiées.

NOTE 2 Des informations détaillées sur le rayonnement solaire global sont données dans la CEI 60721-2-4.

NOTE 3 Le rayonnement UV peut endommager certains matériaux synthétiques. Pour plus d’informations, se reporter à la série CEI 60068.

c) L’altitude ne dépasse pas 1 000 m au-dessus du niveau de la mer.

d) L’air ambiant n’est pas pollué de manière significative par la poussière, la fumée, des gaz corrosifs et/ou inflammables, de la vapeur ou du sel. La pollution ne dépasse pas la classe de pollution c - Moyen – conformément à la CEI/TS 60815-1.

e) La couche de glace ne dépasse pas 1 mm pour la classe 1, 10 mm pour la classe 10 et 20 mm pour la classe 20. Des informations complémentaires sont données en 4.3.4.

f) La vitesse du vent ne dépasse pas 34 m/s (correspondant à 700 Pa sur des surfaces cylindriques).

NOTE 4 Les caractéristiques du vent sont décrites dans la CEI 60721-2-2.

g) Il convient de prendre en compte la présence de condensation ou de précipitation. Les précipitations sous forme de rosée, condensation, brouillard, pluie, neige, glace ou givre doivent être prises en compte.

NOTE 5 Les caractéristiques de la précipitation pour l’isolation sont décrites dans la CEI 60060-1 et la CEI 60071-1. Pour les autres propriétés, ces caractéristiques sont données dans la CEI 60721-2-2.

h) Les vibrations dues à des causes externes pour les matériels ou à des tremblements de terre sont négligeables.

i) Il convient de considérer les perturbations électromagnétiques telles que décrites dans le Guide 107 de la CEI.

4.4.3 Conditions particulières

4.4.3.1 Généralités

Lorsque des matériels à haute tension sont utilisés dans des conditions différentes des conditions environnementales normales indiquées en 4.4.2, il convient que les exigences de l'utilisateur se réfèrent, par exemple, aux mesures normalisées données dans les paragraphes suivants.

4.4.3.2 Altitude

Pour des installations situées à une altitude supérieure à 1 000 m au-dessus du niveau de la mer, le niveau d’isolement pour l’isolation extérieure dans des conditions atmosphériques de référence normalisées doit être déterminé en multipliant les tensions de tenue d'isolation requises à l’emplacement de service par un facteur K_a conformément à la CEI 62271-1:2007.

NOTE 1 Pour une isolation interne sous pression, les caractéristiques diélectriques sont identiques, quelle que soit l’altitude, et aucune précaution particulière n’est requise.

NOTE 2 Pour les matériels auxiliaires et équipements de commande à basse tension, aucune précaution particulière n’est requise jusqu’à une altitude de 2 000 m au-dessus du niveau de la mer. Pour des altitudes plus élevées, voir la CEI 60664-1.

NOTE 3 La variation de pression due à l'altitude est donnée dans la CEI 60721-2-3. Concernant ce phénomène, il convient d'accorder une attention toute particulière aux points suivants:

– échanges thermiques par convection, conduction ou rayonnement;
– rendement du chauffage ou de la climatisation;
– niveau de fonctionnement des appareils sous pression;
– rendement du groupe électrogène diesel ou de l'unité d'air comprimé;
– augmentation de l'effet couronne.

NOTE 4 Le facteur de correction K_a de la CEI 62271-1:2007 reflète le fait qu'une modification n'est pas requise pour les altitudes inférieures à 1 000 m.

4.4.3.3 Pollution

Pour les matériels situés dans l'air ambiant pollué, il convient de spécifier une classe d (élevé) de pollution ambiant ou une classe e (très élevé), tel que défini dans la CEI/TS 60815-1.

4.4.3.4 Température et humidité

Pour les matériels situés en un emplacement où la température ambiante peut être très différente de la gamme de températures de fonctionnement normale indiquée en 4.4.2, il convient que les gammes préférentielles de températures minimales et maximales à spécifier soient définies comme suit:

–50 °C et +40 °C pour des climats très froids;

–5 °C et +50 °C pour des climats très chauds.

Dans certaines régions avec apparitions fréquentes de vents humides et chauds, des variations brutales de température peuvent se produire, entraînant la formation de condensation, y compris à l'intérieur.

Dans des conditions intérieures tropicales, la valeur moyenne mesurée de l'humidité relative pendant une période de 24 h peut être de 98 %.

Dans certaines installations souterraines, le matériel peut se trouver immergé. De tels matériels doivent être conçus en conséquence et des procédures de fonctionnement appropriées doivent être définies.

4.4.3.5 Vibrations

~~Il convient de traiter les vibrations dues à des causes externes conformément à la CEI 60721-2-6.~~

~~Les installations situées dans des régions à environnement sismique doivent être conçues en prenant en compte ces conditions. Cela doit être réalisé en appliquant les mesures suivantes:~~

~~a) Tout matériel individuel doit être conçu pour résister aux forces dynamiques dues aux mouvements verticaux et horizontaux du sol. Ces effets peuvent être modifiés par la réponse de la fondation et/ou du cadre d'appui et/ou du sol où ces matériels sont installés. Le spectre du séisme doit être pris en compte lors de la conception des matériels.~~

~~b) La disposition doit être choisie afin de limiter les charges suivantes à des valeurs acceptables:~~

~~– les charges dues aux interconnexions entre des dispositifs adjacents devant supporter des mouvements, relativement importants, radiaux, axiaux, de torsion et autres, en tenant compte des autres contraintes pouvant se développer durant un séisme;~~

~~– les contraintes en fonctionnement des matériels pouvant être transmises par une fondation ou un plancher monolithique commun (par exemple, ouverture / réenclenchement des disjoncteurs).~~

~~Lorsque des spécifications de charge s'appliquent à des travaux de génie civil ou à des matériels répondant à des conditions sismiques, ces spécifications doivent alors être respectées.~~

Les conditions et les exigences particulières doivent faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur. (Voir aussi 4.3.9 Charges sismiques).

Les vibrations dues au vent, aux contraintes électromagnétiques, au trafic (par exemple routier ou ferroviaire temporaires) et aux procédés industriels doivent être prises en compte. La capacité d'un matériel à résister aux vibrations doit être donnée par le constructeur.

Les contraintes en fonctionnement des matériels, pouvant être transmises par une fondation ou un plancher monolithique commun (par exemple ouverture/fermeture des disjoncteurs) doivent être prises en compte.

4.5 Exigences particulières

4.5.1 Effets dus à la présence de petits animaux et micro-organismes

Si une activité biologique (due à des oiseaux, à d'autres petits animaux ou à des micro-organismes) constitue un danger, des mesures doivent être prises pour éviter de tels dommages. Ces mesures peuvent inclure le choix approprié de matériaux, des dispositions pour empêcher l'accès, ainsi qu'un chauffage et une ventilation adéquats (pour plus de détails, se reporter à la CEI 60721-2-7).

4.5.2 Niveau de bruit

Si des limites de niveau de bruit sont imposées (en général par des autorités administratives), elles doivent être respectées par la mise en œuvre de mesures appropriées telles que

– l'adoption de techniques d'isolement phonique contre toute forme de transmission du son par l'air ou des corps solides;
– l'utilisation de matériel à faible niveau de bruit.

L'ISO 1996-1 spécifie des critères pour l'évaluation du bruit, pour différents lieux et différentes périodes de la journée.

4.5.3 Transport

Le transport sur site, par exemple de volumineux transformateurs, et les contraintes de stockage peuvent avoir des conséquences sur la conception de l'installation électrique haute tension.

5 Isolement

5.1 Généralités

Etant donné que les installations traditionnelles (isolées par l'air) ne font normalement pas l'objet d'essais de niveau de tenue au choc, l'installation exige des espaces libres minimaux entre les parties actives et la terre et entre les parties actives des phases afin d'éviter un contournement au-dessous du niveau de tenue au choc spécifié pour l'installation.

La coordination de l'isolement doit être conforme à la CEI 60071-1.

5.2 Choix du niveau d'isolement

Le niveau d'isolement doit être choisi selon la tension la plus élevée établie pour l'installation U_m et/ou la tension de tenue au choc.

5.2.1 Considération relative aux méthodes de mise à la terre du neutre

Il convient que le choix soit effectué principalement pour assurer la fiabilité en service en tenant compte de la méthode de mise à la terre du neutre dans le réseau et des caractéristiques et emplacements des dispositifs de limitation des surtensions à installer.

Dans les installations où un niveau élevé de sécurité est exigé, ou dans lesquelles, en raison de la configuration du réseau, de la méthode adoptée pour la mise à la terre du neutre ou de la protection par des parafoudres, il est inapproprié d'abaisser le niveau d'isolement, l'une des valeurs alternatives les plus élevées des Tableaux 1 et 2 et de l'Annexe A doit être choisie.

Dans les installations où, en raison de la configuration du réseau, de la méthode adoptée pour la mise à la terre du neutre ou de la protection par parafoudres, il est approprié d'abaisser le niveau d'isolement, les valeurs alternatives les plus basses des Tableaux 1 et 2 et de l'Annexe A sont suffisantes.

5.2.2 Considération relative aux tensions assignées de tenue au choc

Dans la plage de tensions I (1 kV $< U_m \leq$ 245 kV), le choix doit être basé sur les tensions assignées de tenue au choc de foudre et les tensions assignées de tenue au choc à fréquence industrielle de courte durée du Tableau 1; dans la plage de tensions II ($U_m >$245 kV), le choix doit être basé sur les tensions assignées de tenue au choc dû à la commutation et les tensions assignées de tenue au choc de foudre indiquées au Tableau 2. Les valeurs des niveaux d'isolement assignés qui n'ont pas été normalisées par la CEI, mais qui se fondent sur les méthodes courantes dans certains pays, sont énumérées dans la liste de l'Annexe A (Tableaux A.1, A.2 et A.3).

5.3 Vérification des valeurs de tenue au choc

Si les espaces libres minimaux dans l'air indiqués aux Tableaux 1 et 2 et à l'Annexe A sont maintenus, il n'est pas nécessaire de réaliser des essais diélectriques.

Si les espaces libres minimaux dans l'air ne sont pas maintenus, la capacité à tolérer des tensions d'essai du niveau d'isolement choisi doit être établie en appliquant les essais diélectriques appropriés conformément à la CEI 60060-1 pour les valeurs de tension de tenue au choc indiquées aux Tableaux 1 et 2 et à l'Annexe A.

Si les espaces libres minimaux dans l'air ne sont pas maintenus dans les parties ou les zones d'une installation, des essais diélectriques limités à ces parties ou à ces zones sont suffisants.

NOTE Conformément à l'Annexe A de la CEI 60071-2:1996, les espaces libres minimaux peuvent être abaissés s'il a été démontré par des essais ou des expérimentations de fonctionnement de plus basses surtensions.

5.4 Espaces libres minimaux des parties actives

5.4.1 Généralités

Les espaces libres minimaux dans l'air indiqués aux Tableaux 1 et 2 et à l'Annexe A s'appliquent pour des altitudes allant jusqu'à 1 000 m au-dessus du niveau de la mer. Pour des altitudes plus élevées, voir 4.4.3.2.

NOTE Certaines valeurs des espaces libres minimaux sont désignées par « N ». Il s'agit d'un symbole pour ces espaces libres minimaux sur la base desquels se fondent les distances de sécurité indiquées à l'Article 7.

Si des parties d'une installation peuvent être séparées l'une de l'autre par un sectionneur, ~~elles~~ ces parties doivent être soumises à des essais à la tension assignée de tenue au choc pour la distance d'isolement (voir Tableaux 1a et 1b ainsi que les Tableaux 2a et 2b de la CEI 62271-1:2007, Amendement 1:2011). Si entre de telles parties d'une installation, les espaces libres minimaux du Tableau 1 pour la plage I, respectivement, les espaces libres

minimaux entre phases pour la plage II du Tableau 2 sont augmentés de 25 % ou plus, il n'est pas nécessaire de réaliser des essais diélectriques.

5.4.2 Espaces libres minimaux dans la plage de tensions I

Dans la plage de tensions I (voir Tableau 1), les espaces libres minimaux dans l'air sont basés sur des configurations défavorables des électrodes avec de petits rayons de courbure (c'est-à-dire plaque-tige). Etant donné que dans ces plages de tensions, la tension assignée de tenue au choc de foudre (LIWV) est la même pour l'isolement entre phases et l'isolement phase-terre, les espaces libres s'appliquent aux deux distances d'isolement.

5.4.3 Espaces libres minimaux dans la plage de tensions II

Dans la plage de tensions II (voir Tableau 2), les espaces libres dans l'air sont déterminés par la tension assignée de tenue au choc dû à la commutation (SIWV). Ils dépendent en grande partie des configurations des électrodes. En cas de difficulté de classement de la configuration des électrodes, il est recommandé de faire un choix sur la base des espaces libres entre phase et terre de la configuration la plus défavorable, telle que, par exemple, le bras d'un isolateur par rapport à la construction de la tour (structure-tige).

Tableau 1 – Distances minimales d'isolement dans l'air – Plage de tensions I
(1 kV < U_m ≤ 245 kV)

Plage de tensions	Tension la plus élevée pour l'installation	Tension assignée de tenue au choc à fréquence industrielle de courte durée	Tension assignée de tenue au choc de foudre [a]	Espace libre minimal entre phases et terre et entre phases N	
	U_m eff.	U_d eff.	U_p 1,2/50 µs (valeur de crête)	Installations intérieures	Installations extérieures
	kV	kV	kV	mm	mm
I	3,6	10	20	60	120
			40	60	120
	7,2	20	40	60	120
			60	90	120
	12	28	60	90	150
			75	120	150
			95	160	160
	17,5	38	75	120	160
			95	160	160
	24	50	95	160	
			125	220	
			145	270	
	36	70	145	270	
			170	320	
	52	95	250	480	
	72,5	140	325	630	
	123	185 [b]	450 [b]	900	
		230	550	1 100	
	145	185 [b]	450 [b]	900	
		230	550	1 100	
		275	650	1 300	
	170	230 [b]	550 [b]	1 100	
		275	650	1 300	
		325	750	1 500	
	245	275 [b]	650 [b]	1 300	
		325 [b]	750 [b]	1 500	
		360	850	1 700	
		395	950	1 900	
		460	1 050	2 100	

[a] La tenue assignée au choc de foudre est applicable entre phases et entre phase et terre.

[b] Si les valeurs sont considérées comme insuffisantes pour démontrer que les tensions exigées de tenue au choc entre phases sont obtenues, des essais supplémentaires de tenue au choc entre phases sont nécessaires.

Tableau 2 – Distances minimales d'isolement dans l'air – Plage de tensions II (U_m > 245 kV)

Plage de tensions	Tension la plus élevée pour l'installation e	Tension assignée de tenue aux chocs de foudre [a]	Tension assignée de tenue au choc de manœuvre	Espace libre minimal entre phase et terre		Tension assignée de tenue au choc de manœuvre	Espace libre minimal entre phases	
	U_m efficace	U_p 1,2/50 µs (valeur de crête)	U_s Phase à terre 250/2 500 µs (valeur de crête)	Conducteur – structure	Tige – structure N	U_s entre phases 250/2 500 µs (valeur de crête)	Conducteur – parallèle conducteur	Tige – conducteur
	kV	kV	kV	mm		kV	mm	
II	300	850/950	750	1 600 1 700 [b]	1 900	1 125	2 300	2 600
		950/1 050	850	1 800 1 900 [b]	2 400	1 275	2 600	3 100
	362	950/1 050	850	1 800 1 900 [b]	2 400	1 275	2 600	3 100
		1 050/1 175	950	2 200	2 900	1 425	3 100	3 600
	420	1 050/1 175	850	1 900 2 200 [b]	2 400	1 360	2 900	3 400
		1 175/1 300	950	2 200 2 400 [b]	2 900	1 425	3 100	3 600
		1 300/1 425	1 050	2 600	3 400	1 575	3 600	4 200
	550	1 175/1 300	950	2 200 2 400 [b]	2 900	1 615	3 700	4 300
		1 300/1 425	1 050	2 600	3 400	1 680	3 900	4 600
		1 425/1 550	1 175	3 100	4 100	1 763	4 200	5 000
	800	1 675/1 800	1 300	3 600	4 800	2 210	6 100	7 400
		1 800/1 950	1 425	4 200	5 600	2 423	7 200	9 000
		1 950/2 100	1 550	4 900	6 400	2 480	7 600	9 400
	1 100	1 950/2 100	1 425 [c]	4 200	5 600	-	-	-
		2 100/2 250	1 550	4 900	6 400	2 635	8 400 [d]	10 000 [d]
		2 250/2 400	1 675	5 600 [d]	7 400 [d]	2 764	9 100 [d]	10 900 [d]
		2 400/2 550	1 800	6 300 [d]	8 300 [d]	2 880	9 800 [d]	11 600 [d]
	1 200	2 100/2 250	1 675	5 600 [d]	7 400 [d]	2 848	9 600 [d]	11 400 [d]
		2 250/2 400	1 800	6 300 [d]	8 300 [d]	2 970	10 300 [d]	12 300 [d]
		2 550/2 700	1 950	7 200 [d]	9 500 [d]	3 120	11 200 [d]	13 300 [d]

[a] La tension assignée de tenue aux chocs de foudre est applicable entre phases et entre phase et terre.

[b] Espace libre minimal exigé pour la valeur supérieure de la tension assignée de tenue aux chocs de foudre.

[c] Cette valeur est applicable uniquement à l'isolation entre phase et terre des matériels monophasés non exposés à l'air.

[d] Les valeurs d'essai sont toujours à l'étude.

~~NOTE L'introduction de U_m au-dessus de 800 kV est à l'étude. Les tensions 1 050 kV, 1 100 kV et 1 200 kV sont énumérées dans la CEI 60038.~~

5.5 Espaces libres minimaux entre les parties dans des conditions spéciales

Les espaces libres minimaux entre les parties d'une installation qui peuvent être soumises à une opposition de phases doivent être de 20 % supérieurs aux valeurs indiquées aux Tableaux 1 et 2 et à l'Annexe A.

Les espaces libres minimaux entre les parties d'une installation auxquelles sont affectés des niveaux d'isolement différents, doivent correspondre au moins à 125 % des espaces libres minimaux du niveau d'isolement le plus élevé.

Si les conducteurs oscillent sous l'influence de forces de court-circuit, un minimum doit être maintenu à 50 % au moins des espaces libres minimaux par rapport aux valeurs des Tableaux 1 et 2 et de l'Annexe A.

Si les conducteurs oscillent sous l'influence du vent, un minimum doit être maintenu à 75 % au moins des espaces libres minimaux par rapport aux valeurs des Tableaux 1 et 2 et de l'Annexe A.

En cas de rupture d'une sous-chaîne dans une chaîne d'isolateurs multiples, un minimum doit être maintenu à 75 % des espaces libres minimaux par rapport aux valeurs des Tableaux 1 et 2 et de l'Annexe A.

Si ni le point du neutre ni un conducteur de phase ne sont effectivement mis à la terre dans une installation qui est alimentée par des autotransformateurs, l'isolement du côté de la tension la plus basse doit avoir une valeur assignée conforme à la plus haute tension des matériels du côté de la tension la plus élevée. Il convient de veiller à ce que l'isolement des points du neutre soit effectué conformément à la méthode de mise à la terre du neutre.

5.6 Zones de connexion soumises à essai

Les informations concernant les conditions de montage et de service des matériels soumis à un essai de type et fournies par le constructeur doivent être respectées sur le site.

NOTE Dans les zones de connexion soumises à essai, il n’est pas nécessaire de maintenir les espaces libres minimaux conformes aux Tableaux 1 et 2 et à l'Annexe A étant donné que la capacité de supporter la tension d'essai est établie par un essai de type diélectrique.

6 Matériels

6.1 Exigences générales

6.1.1 Choix

Les matériels doivent être choisis et installés de façon à ce qu'ils satisfassent aux exigences suivantes:

a) construction sans danger lorsque les matériels sont assemblés, installés et connectés de manière appropriée à la source d'alimentation;

b) performance appropriée et sûre en tenant compte des influences extérieures prévisibles à l’emplacement prévu;

c) performance appropriée et sûre pendant le fonctionnement normal et en cas de conditions raisonnablement prévues des surcharges, de fonctionnement anormal et de panne, sans qu'il en résulte de détériorations qui rendraient les matériels dangereux;

d) protection du personnel pendant l'utilisation et la maintenance des matériels.

6.1.2 Conformité

Les matériels doivent être conformes aux normes CEI pertinentes en accordant une attention toute particulière au Guide 107 de la CEI et au Guide ISO/CEI 51.

Si la conformité à des procédures de fonctionnement et de sécurité spécifiques à une certaine installation est requise, des exigences complémentaires doivent être spécifiées par l'utilisateur.

6.1.3 Sécurité du personnel

Une attention toute particulière doit être accordée à la sécurité du personnel au cours de l'installation, du fonctionnement et de la maintenance des matériels.

Cela peut inclure

a) des manuels et des instructions concernant le transport, l'entreposage, l'installation, l'exploitation et la maintenance,

b) des outils spéciaux exigés pour le fonctionnement, la maintenance et les essais,

c) des méthodes de travail sans danger, établies pour des emplacements spécifiques,

d) des moyens sûrs de mise à la terre.

6.2 Exigences spécifiques

6.2.1 Dispositifs de coupure

Une disposition doit être prévue pour indiquer la position des contacts du matériel de sectionnement (y compris les sectionneurs de mise à la terre). L'utilisateur doit spécifier la méthode d'indication, en conformité avec la norme relative au matériel.

L'indicateur de position doit fournir une indication précise de la position réelle des contacts primaires des matériels.

Le dispositif indicateur de position ouverte/fermée doit être facilement visible pour l'opérateur.

Des appareils de sectionnement et de mise à la terre doivent être installés de façon à ce qu'ils ne puissent pas être mis en fonctionnement par inadvertance, par tension ou par pression, exercée manuellement sur les enchaînements opérationnels.

Lorsque l'utilisateur le spécifie, des ~~appareils~~ dispositifs de verrouillage et/ou d'~~interverrouillage~~ enclenchement doivent être ~~fournis afin d'éviter toute opération défectueuse~~ installés pour fournir un dispositif de protection contre un fonctionnement inapproprié.

Si un système d'interverrouillage est prévu afin d'empêcher le sectionneur de mise à la terre de supporter la totalité du courant de court-circuit, il est admis, selon accord avec l'utilisateur, de spécifier une valeur assignée réduite pour cet appareil qui reflète sa contrainte éventuelle de courant de court-circuit.

Les matériels doivent être installés d'une manière telle que le gaz ionisé libéré pendant la commutation n'entraîne pas de détériorations des matériels ou de dangers pour le personnel d'exploitation.

NOTE Le mot «détérioration» est considéré comme désignant tout défaut du matériel qui nuit à son bon fonctionnement.

Les caractéristiques assignées de l'appareillage doivent être basées sur les normes CEI haute tension appropriées. La commutation de certains circuits peut cependant exiger l'usage de contraintes plus sévères que celles définies dans ces normes. Des exemples de tels circuits sont les bancs de filtres et les charges dont les rapports X/R sont élevés, tels que les gros transformateurs et générateurs. Les exigences spécifiques relatives aux appareillages nécessaires à de tels circuits doivent faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur.

6.2.2 Transformateurs de puissance et réactances

Sauf indication contraire, le présent paragraphe s'applique tant aux transformateurs qu'aux réactances, même si le texte ne fait référence qu'aux seuls transformateurs.

Les principaux critères de choix pour les transformateurs sont indiqués dans les Articles 4 et 8.

Les transformateurs sont classés en tenant compte du diélectrique en contact avec l'enroulement et du type de refroidissement intérieur ou extérieur, tel que décrit à l'Article 3 de la CEI 60076-2:1993.

Lors de la conception de l'installation des transformateurs, il doit être tenu compte de la possibilité de propagation des incendies (voir 8.7). De façon analogue, et si cela s'avère nécessaire, des moyens de limiter le niveau de bruit acoustique doivent être mis en place (voir 4.5.2).

Pour les transformateurs installés à l'intérieur, une ventilation adéquate doit être fournie (voir 7.5.7).

Les eaux (nappes phréatiques, eaux de ruissellement et eaux usées) ne doivent pas être contaminées par les installations de transformateurs. Cet objectif doit être atteint par le choix de la conception du type de transformateur et/ou des dispositions du site. Pour les mesures, voir 8.8.

S'il se révèle nécessaire de prélever des échantillons (échantillons d'huile) ou de lire les données des appareils de surveillance continue (tels qu'indicateurs de niveau des fluides, de température ou de pression) qui sont importants pour le fonctionnement du transformateur, alors que le transformateur est sous tension, il doit être possible de réaliser ces opérations en toute sécurité et sans aucune détérioration des matériels.

Des réactances à noyau d'air doivent être installées de telle façon que le champ magnétique du courant de court-circuit ne soit pas en mesure d'attirer des objets dans la bobine. Les matériels voisins doivent être conçus de manière à résister aux forces électromagnétiques résultantes. Les pièces métalliques voisines, telles que renforcements de fondations, clôtures et grilles de mise à la terre, ne doivent pas être soumises à une montée en température excessive dans des conditions de charge normales.

Il convient de minimiser le risque de détérioration des transformateurs dû à des contraintes excessives résultant de la ferrorésonance, des harmoniques et d'autres causes, par des études et des mesures appropriées du réseau.

Lorsque des limiteurs de pression sont utilisés pour les transformateurs, ils doivent être mis en œuvre de manière à diriger la surpression d'huile vers le bas et à l'écart des emplacements de commande où le personnel est susceptible de se trouver.

6.2.3 Appareillage préfabriqué soumis à un essai de type

Les exigences pour l'appareillage à enveloppe métallique isolée au gaz (GIS), l'appareillage à enveloppe métallique, l'appareillage à enveloppe d'isolement et les autres ensembles d'appareillages préfabriqués soumis à un essai de type sont données en 7.4. Pour la sécurité du personnel et la manipulation du gaz, se reporter à 8.8.3 et 9.4.

6.2.4 Transformateurs de mesure

Les circuits secondaires des transformateurs de mesure doivent être reliés à la terre ou les circuits secondaires doivent être séparés par des écrans métalliques mis à la terre conformément aux recommandations de l'Article 10.

Le point du circuit secondaire qui peut être mis à la terre doit être déterminé de façon à éviter toute interférence électrique.

Les transformateurs de mesure doivent être installés de façon à ce que leurs bornes du secondaire soient facilement accessibles lorsque l'ensemble de l'appareillage est mis hors tension.

6.2.4.1 Transformateurs de courant

Le facteur assigné de surintensité de courant et la charge assignée doivent être choisis de manière à assurer un fonctionnement approprié des dispositifs de protection et à éviter la détérioration des appareils de mesure en cas de court-circuit.

Dans les réseaux à haute tension où la constante de temps primaire est longue et où s'effectue un réenclenchement, il est recommandé de tenir compte de la contrainte transitoire due à la partie apériodique du courant de court-circuit. Il convient de tenir compte des recommandations de la CEI 60044-6.

Si des instruments de mesure sont également connectés aux noyaux de protection des transformateurs de courant, ils doivent, si nécessaire, être protégés contre les détériorations résultant de forts courants de court-circuit au moyen de transformateurs auxiliaires appropriés.

Si nécessaire, un écran efficace entre les circuits primaire et secondaire doit être fourni afin de réduire les surtensions transitoires sur les circuits secondaires découlant de l'opération de commutation.

Pour assurer la protection contre les surtensions dangereuses, des dispositions doivent être prises afin de faciliter la mise en court-circuit des enroulements du secondaire des transformateurs de courant.

6.2.4.2 Transformateurs de tension

Les transformateurs de tension doivent être choisis de sorte à ce que la sortie nominale et la précision soient appropriées aux matériels connectés et au câblage. Les effets de ferrorésonance doivent être pris en compte.

Le côté secondaire des transformateurs de tension doit être protégé contre les effets des courts-circuits et il est recommandé que les dispositifs de protection soient surveillés en permanence.

6.2.5 Parafoudres

Les parafoudres doivent être conçus ou positionnés de manière à assurer la sécurité du personnel en cas de rupture du logement ou du fonctionnement de tout limiteur de pression.

Les caractéristiques temps-tension des parafoudres installés dans le même circuit que les fusibles de protection doivent tenir compte des surtensions produites par les fusibles.

Si des appareils de surveillance sont fournis dans le conducteur de terre des parafoudres de type non linéaire à résistance, le conducteur entre un parafoudre et l'appareil de surveillance, et l'appareil de surveillance lui-même, doit alors être protégé de façon à éviter qu'il ne soit touché. Il doit être possible de lire les données des appareils de surveillance lorsque les appareils sont sous tension.

6.2.6 Condensateurs

Le risque de résonance et de surtensions dû aux harmoniques doit être pris en compte, et des moyens appropriés de le limiter doivent être adoptés.

L'augmentation de la tension due aux réactances inductives branchées en série, telles que réactances d'amortissement et circuits de filtres ou de fréquences sonores, doit être prise en compte lors du choix de la tension assignée et de la capacité de courant des condensateurs.

Des condensateurs de couplage, de mesure de la tension et de protection contre les surtensions, doivent être choisis selon la tension assignée de l'appareillage, même si la tension d'exploitation est plus faible.

La décharge des condensateurs de puissance doit être garantie sans danger. Les appareils de décharge doivent être en mesure d'assurer le fonctionnement du point de vue thermique et mécanique.

Les dispositifs de mise en court-circuit et de mise à la terre fournis pour une batterie de condensateurs doivent tenir compte de l'interconnexion des appareils au sein de la batterie, des résistances de décharge et du type de fusibles.

6.2.7 Circuits-bouchons

La largeur de bande doit être déterminée conformément à l'attribution de fréquences du réseau.

6.2.8 Isolateurs

Sauf spécification contraire, la distance de fuite minimale spécifique des isolateurs doit être conforme aux recommandations des CEI/TS 60815-1, CEI/TS 60815-2 et CEI/TS 60815-3 en ce qui concerne le niveau de pollution spécifié par l'utilisateur.

Les exigences de la méthode d'essai humide de la CEI 62271-1:2007 doivent s'appliquer à tous les isolements extérieurs.

Les profils et/ou les exigences de performance relatifs aux isolateurs extérieurs dans des conditions de pollution ou d'humidité importante peuvent être spécifiés par l'utilisateur.

6.2.9 Câbles isolés

6.2.9.1 Température

Les câbles isolés doivent être choisis et posés de sorte à ce que la température maximale autorisée ne soit pas dépassée en ce qui concerne les conducteurs, leur isolement, les connexions, les bornes des matériels ou les environnements dans les conditions suivantes:

a) fonctionnement normal;
b) conditions de fonctionnement particulières, soumises à un accord préalable entre le fournisseur et l'utilisateur;
c) court-circuit.

Le branchement d'un câble aux matériels (par exemple, moteurs, disjoncteurs) ne doit pas entraîner la soumission du câble à des températures plus élevées que celles autorisées pour le câble dans des conditions opérationnelles prévisibles.

6.2.9.2 Contrainte due aux changements de température

La contrainte subie par les matériels en raison des changements de température sur la longueur des conducteurs doit être prise en compte. Si nécessaire, la contrainte doit être éliminée au moyen de mesures appropriées (par exemple, connexions flexibles, embouts de dilatation ou serpentés). Si ces mesures ne sont pas adoptées, il doit être tenu compte des forces supplémentaires dues aux changements de température lors de la vérification de la résistance mécanique des matériels.

6.2.9.3 Câbles rampants et à bobinage souples

Les câbles rampants et à bobinage souples doivent être choisis conformément aux exigences et conditions suivantes:

a) des câbles rampants, ou des câbles ayant des caractéristiques électriques et mécaniques au moins équivalentes, doivent être utilisés pour fournir l'énergie aux matériels de levage, mobiles ou amovibles;

b) dans le cas de contraintes mécaniques plus importantes, par exemple, lorsque les câbles sont soumis à l'abrasion, la tension, la flexion ou l'enroulement en cours de fonctionnement, des câbles rampants à double gaine ou des câbles ayant des caractéristiques électriques ou mécaniques au moins équivalentes doivent être utilisés;

c) les câbles isolés destinés à l'alimentation en énergie de matériels de levage mobiles ou amovibles doivent être équipés d'un conducteur de mise à la terre de protection;

d) la conception d'une quelconque connexion, qu'il s'agisse d'un raccord, d'une terminaison ou d'un autre agencement de la connexion, doit être telle qu'au cas où une contrainte serait appliquée sur le câble, le conducteur de protection doit être le dernier élément à s'en détacher ou à s'en séparer;

e) les câbles isolés qui doivent être enroulés sur un tambour doivent être dimensionnés de façon telle que, lorsque le conducteur est totalement enroulé et soumis à la charge nominale normale, la température maximale autorisée n'est pas dépassée.

Les embouts des câbles rampants souples ne doivent pas être soumis à des tensions ou des compressions; les gaines des câbles doivent être protégées contre le déchirement et les embouts contre les torsions. Les embouts doivent être également conçus de manière que les câbles ne se vrillent pas.

6.2.9.4 Traversées et proximités

Lorsque des câbles isolés traversent ou se trouvent près de canalisations de gaz, d'eau ou autres canalisations, un espace libre minimal approprié doit être maintenu entre les câbles et les canalisations. Lorsque cet espace libre minimal ne peut être maintenu, on doit empêcher tout contact entre les câbles et les canalisations, par exemple, en insérant des coques ou des plaques d'isolement. Ces mesures doivent être coordonnées avec l'opérateur de la canalisation. Dans le cas d'un long routage parallèle, on doit effectuer un calcul de la surtension induite sur la canalisation pendant un court-circuit. Il peut se révéler nécessaire de déterminer des mesures appropriées (par exemple, un routage alternatif pour les câbles ou les canalisations ou un plus grand espace libre entre les câbles et les canalisations).

Lorsque des câbles isolés traversent ou se trouvent à proximité d'installations de télécommunications, un espace libre minimal approprié doit être maintenu entre les câbles et les installations de télécommunications.

Dans le cas d'un long routage parallèle, la surtension induite sur l'installation de télécommunications pendant un court-circuit doit être calculée (comme guide, se référer aux directives de l'UIT). Il peut se révéler nécessaire d'adopter des mesures appropriées afin de réduire cette surtension (un routage alternatif pour les câbles ou les installations de télécommunications, un plus grand espace libre entre les câbles et les installations de télécommunications).

Lorsque des câbles isolés traversent ou se trouvent à proximité d'autres câbles isolés, les effets thermiques réciproques doivent être calculés afin de déterminer l'espace libre minimal entre les câbles ou de déterminer d'autres mesures appropriées (par exemple, déclassement). Les câbles doivent être installés à une distance suffisante de sources de chaleur ou doivent être séparés de telles sources de chaleur au moyen d'écrans d'isolement thermique.

NOTE Il convient que la traversée et la proximité de câbles isolés, de canalisations de gaz, d'eau ou autres canalisations et leur espace libre minimal approprié soient conformes aux réglementations et normes nationales.

6.2.9.5 Installation des câbles

Il doit être prévu suffisamment de points d'accès pour la maintenance et la vérification des câbles par essai (voir l'Article 11).

Il convient de veiller à la protection du câble contre les détériorations mécaniques pendant et après leur installation, de la manière suivante:

a) pour éviter toute détérioration du câble, les opérations de pose doivent être réalisées à la température ambiante telle que spécifiée par les normes des matériels ou par le constructeur;

b) les câbles isolés à un conducteur doivent être posés de manière à assurer que les forces résultant de courants de court-circuit n'entraînent aucune détérioration;

c) la méthode de pose doit être choisie afin de s'assurer que les effets extérieurs sont limités à des valeurs de sécurité acceptables. En outre, lorsqu'ils sont enterrés dans des tranchées, les câbles doivent être installés à une profondeur spécifique et couverts par des dalles ou une grille avec avertissement afin d'empêcher tout dommage causé par des tiers. Il convient que les câbles souterrains et sous-marins soient protégés mécaniquement lorsqu'ils émergent de l'eau ou du sol;

d) la pose de câbles dans la terre doit être réalisée dans le fond d'une tranchée à câbles exempte de cailloux. L'assise doit consister en du sable ou de la terre sans cailloux. Des constructions spéciales de câbles peuvent être choisies, si nécessaire, afin d'assurer une protection contre les incidences chimiques;

e) des mesures doivent être prises pour éviter que les câbles dans les tranchées ne soient endommagés par les véhicules qui circulent au-dessus des tranchées;

f) les mouvements et les vibrations du sol doivent être pris en compte;

g) pour les installations verticales, le câble approprié à l'installation doit être soutenu au moyen d'isolateurs appropriés à gorge à des espaces libres déterminés par la construction du câble et les informations fournies par le constructeur.

h) si des câbles unipolaires sont installés dans des plafonds et des murs renforcés, la possibilité d'échauffement des barres de renforcement en acier doit être prise en compte. Si nécessaire, des mesures structurelles appropriées pour limiter l'échauffement doivent être déterminées.

Les câbles installés dans des conduits métalliques doivent être regroupés d'une manière telle que les conducteurs de toutes les phases (et le neutre, le cas échéant) du même circuit soient posés dans le même conduit afin de minimiser les courants de Foucault. Il convient de prendre en considération l'emplacement du conducteur de mise à la terre.

Les câbles isolés doivent être installés de façon que les tensions de contact se situent dans la fourchette de valeurs autorisées ou de manière que les parties accessibles avec tensions de contact inadmissibles soient protégées contre les contacts au moyen de mesures appropriées.

NOTE Un risque peut exister en ce qui concerne la présence de courants élevés circulant dans les écrans des câbles unipolaires gainés, en particulier lorsqu'ils sont posés à plat.

Les gaines métalliques doivent être mises à la terre conformément à l'Article 10.

La longueur des câbles qui raccordent les transformateurs et les réactances à un circuit doit être choisie de façon à minimiser la production de ferrorésonances.

On doit veiller à limiter les contraintes mécaniques sur les matériels lors de leur connexion aux câbles de puissance.

6.2.9.6 Rayon de courbure

Les valeurs minimales du rayon de courbure pendant et après l'installation dépendent du type de câble. Elles sont indiquées dans les normes correspondantes ou elles doivent être spécifiées par le constructeur.

6.2.9.7 Contrainte de traction

La contrainte maximale de traction autorisée pendant la pose dépend de la nature du conducteur et du type de câble. Elle est indiquée dans les normes correspondantes ou elle doit être spécifiée par le constructeur.

La contrainte de traction statique continue et de crête appliquée aux conducteurs de câbles souples et rampants doit être aussi faible que possible et ne doit pas dépasser les valeurs fournies par le constructeur.

6.2.10 Conducteurs et accessoires

Le présent paragraphe traite des conducteurs (rigides ou souples) et des accessoires qui font partie intégrante des départs de lignes d'alimentation ou des jeux de barres dans les installations.

Les conducteurs couverts doivent être traités comme des conducteurs nus.

Des dispositions doivent être prises pour permettre la dilatation et la contraction des conducteurs dues aux variations de température. Cela ne doit pas s'appliquer lorsque la contrainte due aux variations de température a été prévue dans la conception du système de conducteurs.

Les raccords entre les conducteurs, et les connexions entre les conducteurs et les matériels ne doivent pas présenter de défauts ni se détériorer en cours de service. Ils doivent être stables du point de vue mécanique et chimique. Les faces des raccords doivent être adéquatement préparées et connectées comme spécifié pour le type de connexion. La montée en température d'une connexion entre des conducteurs et l'appareillage en service ne doit pas dépasser les valeurs spécifiées dans la CEI 62271-1:2007.

NOTE Il convient d'obturer les extrémités des jeux de barres tubulaires afin d'éviter la corrosion et les nichées d'oiseau.

Des dispositions doivent être prises pour éviter une oscillation résonante éventuelle des jeux de barres tubulaires provoquée par le vent.

6.2.11 Machines électriques tournantes

Le risque de lésions corporelles dues à des défauts dans les boîtes à bornes des machines doit être réduit au minimum. Les boîtes à bornes des moteurs doivent tolérer les conditions locales de court-circuit. Des dispositifs de limitation de courant peuvent être nécessaires.

Le ~~niveau~~ degré de protection de l'équipement contre la pénétration d'objets, de poussière et d'eau doit être choisi conformément aux conditions climatiques et environnementales ~~spéciales~~ au site de l'installation. Les pièces dangereuses ~~de la~~ des machines doivent être protégées contre ~~tout~~ des contacts accidentels avec les personnes. Le degré de protection doit être défini conformément à la CEI 60529.

Le niveau d'isolement de la machine doit être choisi conformément à la CEI 60034-1.

Un refroidissement suffisant doit être prévu.

NOTE Il convient de protéger les machines contre le dépassement de la montée en température maximale autorisée grâce à l'utilisation de dispositifs de protection électrique appropriés. En particulier, en ce qui concerne

les grosses machines ou celles qui ont un caractère critique pour un procédé de production, il convient d'installer des dispositifs de protection qui indiquent un défaut interne de la machine ou, si nécessaire, l'arrêtent automatiquement.

La conception globale de l'installation doit identifier les exigences pour le type d'enveloppe du moteur, particulièrement si le moteur doit être installé dans une zone dangereuse. En complément, des aspects de sécurité tels que les niveaux de bruit, la température maximale des surfaces accessibles au personnel, le contrôle des fuites et la surveillance, doivent satisfaire aux exigences particulières de l'installation.

Le démarrage de moteurs de forte puissance engendre des chutes de tension dans le réseau électrique de distribution. Différentes techniques sont disponibles pour réduire l'impact sur le réseau électrique lors de démarrage de moteurs de forte puissance. Le dispositif de protection doit être conçu pour assurer une protection appropriée du moteur lors de sa séquence complète de démarrage.

La contribution au courant de court-circuit des moteurs de forte puissance doit être prise en considération.

6.2.12 Générateurs

Le type de caractéristique assignée de puissance du générateur doit être spécifié (par exemple, puissance continue, principale ou de secours). Il convient de spécifier le fonctionnement du générateur en parallèle avec le réseau ou d'autres générateurs. Les dispositifs de commutation à employer pour la synchronisation doivent être définis.

La conception globale de l'installation doit identifier les exigences générales de sécurité spécifiques au matériel, particulièrement pour la protection contre l'incendie et l'utilisation de l'hydrogène. Voir la CEI 60034-3.

6.2.13 Connexions principales du générateur

Pour des générateurs de faible puissance, le choix et la spécification des connexions principales du générateur (jeux de barres) peuvent se fonder sur les articles appropriés de la CEI 62271-200.

Toutefois, un soin particulier doit être accordé au choix des courants établis de crête assignés. Il peut également être nécessaire de spécifier des essais ou des calculs supplémentaires pour les connexions non préfabriquées et non soumises à des essais de type.

Si nécessaire, des études de défauts doivent être menées pour déterminer les courants établis de crête et de tenue au choc de courte durée, particulièrement pour les connexions de sections réduites (par exemple, pour les transformateurs auxiliaires).

Pour des générateurs de forte puissance, et lorsqu'un niveau de sécurité plus élevé est exigé, il est recommandé d'employer des jeux de barres à phases isolées ou à phases séparées.

L'impact des champs magnétiques dus à l'utilisation de connexions principales des générateurs sans enveloppe métallique doit être considéré dans la conception de l'installation.

La conception doit prendre en compte le fait que lorsqu'un générateur n'est pas connecté au réseau, mais tourne à faible vitesse afin d'éviter toute déformation de l'arbre d'entraînement du générateur:

a) il existe une possibilité de tensions induites potentiellement dangereuse; et
b) des moyens doivent être mis en œuvre pour modifier la position du commutateur sur les transformateurs directement reliés aux bornes du générateur.

NOTE Lorsque les connexions entre le générateur et le transformateur sont courtes, il convient de prévoir l'ajout de condensateurs dans l'appareillage de connexion afin de limiter les surtensions pouvant apparaître lors de la commutation.

6.2.14 Convertisseurs statiques

Les pièces accessibles des appareils convertisseurs qui peuvent transporter une tension dangereuse au cours de leur fonctionnement normal ou dans des conditions de défaut doivent être marquées et protégées de manière appropriée contre tout contact accidentel avec les personnes. Cela peut se faire par la mise en place de barrières de protection appropriées.

Les fluides de transfert de froid et de chaleur ne doivent pas contenir de polluants mécaniques ou de composants chimiquement agressifs susceptibles d'entraîner un dysfonctionnement du matériel.

Lorsque l'on utilise de l'eau comme fluide de refroidissement, la possibilité de corrosion due à des courants de fuite (courants dus à la conductivité de l'eau) doit être prise en compte.

Lorsque l'on utilise de l'huile comme fluide de refroidissement, une protection analogue contre l'incendie et la pollution des nappes phréatiques doit être assurée; il en est de même pour les transformateurs et les réactances remplis d'huile.

Au moment de la planification de la disposition des appareils convertisseurs, la possibilité d'interférence magnétique occasionnée par des courants alternatifs élevés sur d'autres matériels ou parties de l'installation, en particulier les composants en acier, doit être prise en compte.

6.2.15 Fusibles

6.2.15.1 Espaces libres

Les espaces libres électriques minimaux pour les installations d'ensembles de fusibles doivent tenir compte de toutes les positions possibles des parties actives avant, pendant et après le fonctionnement.

Des fusibles ouverts doivent être pourvus de distances d'isolement adéquates ou de barrières de protection appropriées dans la ou les directions où les ouvertures sont orientées. Les décharges provenant de fusibles ouverts peuvent contenir des gaz chauds, du plasma d'arc et du métal fondu. Elles peuvent également être conductrices.

Des dispositifs doivent être installés afin de s'assurer que le personnel n'est pas exposé aux décharges des fusibles ouverts soit pendant leur remplacement soit lorsque ce personnel travaille dans la zone concernée. Lorsque cela n'est pas possible, il convient que le circuit qui alimente les fusibles soit mis hors tension préalablement aux expositions possibles, ou encore que le personnel utilise des vêtements et des blindages de protection.

6.2.15.2 Remplacement des fusibles

Les fusibles doivent être installés de façon que leur remplacement puisse être réalisé en toute sécurité conformément aux instructions du constructeur.

NOTE Il convient que le personnel chargé des opérations et de la maintenance dispose de toutes les informations nécessaires afin de choisir de manière adéquate les fusibles de remplacement.

6.2.16 Interverrouillage électrique et mécanique

L'interverrouillage peut être nécessaire pour s'assurer de la réalisation correcte d'une séquence d'opération sur le matériel, afin de prévenir tout risque pour le personnel et tout dommage du matériel.

L'interverrouillage peut être réalisé par des moyens électriques ou mécaniques. Dans le cas de perte d'alimentation, des dispositifs d'interverrouillage électrique doivent être conçus de façon à ce qu'ils restent en position de sécurité.

7 Installations

7.1 Exigences générales

En ce qui concerne les installations, le présent article ne stipule que des exigences générales relatives au choix de l'agencement du circuit, de la documentation du circuit, des voies de circulation, de l'éclairage, de la sécurité opérationnelle et de l'étiquetage.

Les distances, espaces libres et dimensions spécifiés représentent des valeurs minimales autorisées pour une exploitation en toute sécurité. Ils se fondent en général sur les valeurs minimales données dans les anciennes normes nationales des membres de la CEI. Si nécessaire, un utilisateur peut spécifier des valeurs plus élevées.

NOTE Pour les espaces libres minimaux (N) des parties actives, se référer à 5.4 et aux Tableaux 1 et 2 et à l'Annexe A.

Les normes et réglementations nationales peuvent exiger l'utilisation de valeurs plus élevées pour les espaces libres minimaux.

Lorsqu'une installation existante doit être agrandie, les exigences applicables au moment de sa conception et de sa construction peuvent être spécifiées en tant que variante.

En outre, les normes applicables concernant le fonctionnement des installations (de puissance) électriques doivent être prises en compte. Des procédures de fonctionnement doivent être définies par l'utilisateur (voir 7.1.1).

7.1.1 Agencement des circuits

L'agencement des circuits doit être choisi de façon à satisfaire aux exigences opérationnelles et à permettre la mise en œuvre des exigences de sécurité conformément à 8.3. La continuité du service dans des conditions de défaut et de maintenance, compte tenu de la configuration du réseau, doit également être prise en considération. Les circuits doivent être agencés de manière à ce que les opérations de commutation puissent avoir lieu rapidement et en toute sécurité.

Chaque système séparé électriquement doit être fourni avec un dispositif indicateur de défaut à la terre qui permet la détection ou la coupure d'un défaut à la terre.

On doit s'assurer que les sections isolées d'une installation ne peuvent pas être, par inadvertance, mises sous tension à travers la tension de sources secondaires connectées en parallèle (par exemple, transformateurs de mesure).

Les dispositifs d'isolement accessibles au public doivent pouvoir être verrouillés.

Les installations doivent être en mesure de supporter les contraintes dynamiques et thermiques découlant d'un courant de court-circuit conformément à l'Article 4.

L'agencement des circuits peut, toutefois, être configuré de manière à ce que des sections de l'installation qui fonctionnent normalement de manière séparée soient interconnectées pendant de courtes périodes au cours d'opérations de commutation, même lorsque, à la suite d'une telle connexion, le courant de court-circuit dépasse la valeur assignée de conception de l'installation. Dans de tels cas, des mesures de protection appropriées doivent être adoptées pour éviter tout danger pour le personnel. Des méthodes opérationnelles définies peuvent être exigées dans ce but.

NOTE 1 Cette situation peut être inévitable, en fonctionnement, si, par exemple, les lignes d'alimentation sont commutées d'un jeu de barres à l'autre.

Dans les circuits qui possèdent des dispositifs de protection contre les surintensités, les matériels et les connexions courtes peuvent avoir des valeurs assignées qui correspondent au courant de coupure (traversée) du dispositif de protection contre les surintensités.

NOTE 2 Les matériels situés entre le jeu de barres et les dispositifs de protection contre les surintensités ont un pouvoir de courant de défaut suffisant uniquement en cas de défauts du côté de la charge des dispositifs de protection contre les surintensités.

7.1.2 Documentation

Le cas échéant, la documentation doit être fournie avec chaque installation afin de permettre la construction, la mise en service, l'exploitation, la maintenance et la protection de l'environnement.

L'importance et la langue de la documentation doivent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

Les diagrammes, graphiques et tableaux, lorsqu'ils existent, doivent être préparés conformément à la CEI 60617 et à la CEI 61082-1.

7.1.3 Voies de circulation

Les voies de circulation, leur capacité de charge, la hauteur et la largeur doivent être adéquates pour permettre les mouvements des véhicules de transport prévus, et doivent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

A l'intérieur des locaux électriques fermés, le passage de véhicules ou autre matériel mobile sous ou à proximité de parties actives (sans dispositifs de protection) est autorisé sous réserve que les conditions suivantes soient satisfaites (voir Figure 5):

– le véhicule, avec ses portes ouvertes et sa charge, n'empiète pas sur la zone dangereuse: espace libre minimal de protection pour les véhicules $T = N + 100$ (minimum 500 mm);
– la hauteur minimale, H, des parties actives au-dessus des zones accessibles est maintenue (voir 7.2.4).

Dans de telles circonstances, le personnel ne peut demeurer dans les véhicules ou le matériel mobile que si des mesures de protection adéquates existent sur le véhicule ou le matériel mobile, par exemple, le toit de cabine, afin de s'assurer que nul ne peut empiéter sur la zone dangereuse définie ci-dessus.

En ce qui concerne les espaces latéraux libres minimaux entre les véhicules de transport et les parties actives, des principes analogues s'appliquent.

7.1.4 Allées et zones d'accès

La largeur des allées et des zones d'accès doit être appropriée pour les travaux, les accès pendant le fonctionnement, les accès d'urgence, l'évacuation en cas d'urgence et le transport des matériels.

NOTE Pour les zones de maintenance et d'exploitation dans les bâtiments, voir 7.5.4.

7.1.5 Eclairage

Les installations intérieures et extérieures accessibles doivent être équipées d'un éclairage approprié pour les opérations de routine.

Si nécessaire, un éclairage auxiliaire/d'urgence doit être fourni; il peut consister soit en une installation fixe soit en un matériel portatif.

Dans certains cas, dans les postes de distribution de petites dimensions, une installation d'éclairage peut ne pas être exigée. Dans un tel cas, la présence et la portée de l'éclairage doivent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

Tout élément de l'installation d'éclairage qui nécessite une maintenance ou un remplacement, par exemple, les ampoules, doit être installé de manière à ce que, lors de la réalisation adéquate de travaux, l'espace minimal de travail par rapport aux parties actives puisse être respecté.

NOTE Il convient que les niveaux d'éclairage soient conformes aux réglementations et aux normes nationales et/ou internationales actuelles applicables.

7.1.6 Sécurité opérationnelle

Les dispositifs de sécurité opérationnelle doivent être conçus de sorte à ce que les parcours d'évacuation et de sauvetage et l'issue de secours puissent être utilisés de façon sûre en cas d'incendie, et de sorte à ce que la protection et la compatibilité de l'environnement soient assurées.

En cas de nécessité, les installations elles-mêmes doivent être protégées contre les risques d'incendie, d'inondation et de contamination. Des mesures complémentaires doivent être adoptées afin de protéger les installations importantes contre les effets de la circulation routière (projections de sel, accident automobile) si cela est exigé.

7.1.7 Etiquetage

Pour éviter toute erreur d'exploitation et les accidents, il est indispensable de procéder à l'identification et à l'étiquetage (des éléments).

Toutes les parties importantes de l'installation, par exemple, les systèmes de jeux de barres, l'appareillage, les travées et les conducteurs, doivent être étiquetées de façon claire, lisible et durable.

Des consignes de sécurité, par exemple, avis avec avertissement, notices de consignes de sécurité et notes d'information, doivent être prévues dans les emplacements appropriés de l'installation (voir 8.9).

NOTE 1 Il convient de tenir compte des réglementations locales et nationales.

NOTE 2 Il convient de prévoir des notes d'information pour le fonctionnement des dispositifs d'interverrouillage principaux.

NOTE 3 Des consignes de sécurité peuvent être prévues lorsque plusieurs sources de puissance haute tension doivent être déconnectées pour la mise hors tension complète des matériels ou lorsque ces derniers peuvent être réalimentés de manière intempestive.

7.2 Installations extérieures de conception libre

La disposition des installations extérieures de type libre doit tenir compte des espaces libres minimaux entre phases et entre phase et terre indiqués à l'Article 5.

La conception de l'installation doit être telle que l'accès aux zones dangereuses soit restreint en tenant compte de la nécessité d'un accès pour l'exploitation et la maintenance. En conséquence, des clôtures extérieures doivent être prévues et, lorsque les distances de sécurité ne peuvent être maintenues, des dispositifs de protection permanents doivent être installés. Pour les installations électriques sur mât, pylône et tour, les clôtures extérieures peuvent ne pas être exigées si l'installation est inaccessible depuis le sol au public et satisfait aux distances de sécurité données en 7.7.

Une séparation doit être établie entre les travées ou les sections en prévoyant des distances, des barrières de protection ou des obstacles de protection appropriés.

7.2.1 Espaces libres des barrières de protection

A l'intérieur d'une installation, les espaces libres minimaux de protection suivants doivent être maintenus entre les ~~parties actives~~ éléments sous tension et la surface interne de toute barrière de protection (voir Figure 1):

– pour les murs pleins sans ouverture~~s~~ d'une hauteur minimale de 1 800 mm, l'espace libre minimal de la barrière de protection est de $B_1 = N$;

– pour les treillis métalliques, écrans ou murs pleins~~,~~ avec ouvertures, d'une hauteur minimale de 1 800 mm et un degré de protection ~~IP1XB~~ IPXXB (voir la CEI 60529), l'espace libre minimal de la barrière de protection est de $B_2 = N$ + ~~100~~ 80 mm ~~pour le matériel, où U_m est supérieur à 52 kV;~~.

~~– pour les treillis métalliques, écrans ou murs pleins, avec ouvertures, d'une hauteur minimale de 1 800 mm et un degré de protection IP2X (CEI 60529), l'espace libre minimal de la barrière de protection est de $B_3 = N$ + 80 mm pour le matériel, où U_m est inférieur ou égal à 52 kV.~~

NOTE Le degré IPXXB assure une protection contre l'accès aux pièces dangereuses avec les doigts.

Pour les barrières de protection non rigides et les treillis métalliques, les valeurs de l'espace libre minimal doivent être augmentées afin de tenir compte de tout déplacement éventuel de la barrière ou du treillis de protection.

7.2.2 Espaces libres des obstacles de protection

A l'intérieur des installations, l'espace libre minimal suivant doit être maintenu entre les parties actives et la surface interne de tout obstacle de protection (voir Figure 1):

– pour les murs pleins ou les écrans de moins de 1 800 mm de hauteur et pour les rails, chaînes ou cordes, l'espace libre minimal de l'obstacle de protection est de $O_2 = N$ + 300 mm (minimum 600 mm);

– pour les chaînes ou les cordes, les valeurs doivent être augmentées afin de tenir compte du fléchissement.

Le cas échéant, les obstacles de protection doivent être installés à une hauteur minimale de 1 200 mm et une hauteur maximale de 1 400 mm.

NOTE Dans certains pays, les rails, chaînes et cordes ne sont pas acceptables.

7.2.3 Espaces libres de séparation

La clôture externe des installations extérieures de conception libre doit présenter les espaces libres minimaux de séparation suivants conformément à la Figure 2:

– murs pleins (hauteur, voir 7.2.6) : $C = N$ + 1 000 mm;

– treillis métallique/écrans (hauteur, voir 7.2.6) : $E = N$ + 1 500 mm.

7.2.4 Hauteur minimale au-dessus de la zone d'accès

La hauteur minimale des parties actives au-dessus des surfaces ou des plates-formes où seul l'accès des piétons est autorisé doit être la suivante:

– pour les parties actives sans dispositifs de protection, une hauteur minimale de $H = N$ + 2 250 mm (minimum 2 500 mm) doit être maintenue (voir Figure 3). La hauteur H fait référence au fléchissement maximal du conducteur (voir l'Article 4);

– la partie la plus basse de tout isolement, par exemple, le bord supérieur des bases d'isolateurs métalliques, ne doit pas se trouver à moins de 2 250 mm au-dessus

des surfaces accessibles à moins que d'autres mesures appropriées pour en empêcher l'accès ne soient prévues.

Lorsque la réduction des distances de sécurité due à l'effet de la neige sur les surfaces accessibles doit être prise en considération, les valeurs indiquées ci-dessus doivent être augmentées.

7.2.5 Distances des bâtiments

Lorsque des conducteurs nus traversent des bâtiments qui sont situés à l'intérieur de locaux électriques fermés, les espaces libres minimaux suivants par rapport au toit doivent être maintenus pour un fléchissement maximal (voir Figure 4):

– les espaces libres minimaux spécifiés en 7.2.4 pour les parties actives au-dessus de surfaces accessibles, dans le cas où le toit est accessible lorsque les conducteurs sont sous tension;
– N + 500 mm lorsqu'il n'est pas possible d'avoir accès au toit lorsque les conducteurs sont sous tension;
– O_2 en direction latérale à partir de l'extrémité du toit s'il est possible d'avoir accès à ce dernier lorsque les conducteurs sont sous tension.

Lorsque des conducteurs nus s'approchent de bâtiments qui sont situés à l'intérieur de locaux électriques fermés, les espaces libres minimaux suivants doivent être maintenus permettant ainsi un fléchissement/une oscillation maximale dans le cas de conducteurs câbles:

– mur extérieur avec fenêtres non grillagées: espace libre minimal donné par D_V;
– mur extérieur avec fenêtres grillagées (grillages conformément à 7.2.1): espaces libres minimaux des barrières de protection B_2 conformément à 7.2.1;
– mur extérieur sans fenêtres: N.

7.2.6 Clôtures ou murs extérieurs et portes d'accès

Tout accès non autorisé aux installations extérieures doit être empêché. Lorsque cette interdiction s'effectue au moyen de clôtures ou murs extérieurs, la hauteur et la construction de la clôture/du mur doivent être appropriées afin d'en décourager l'ascension.

Des mesures de prévention supplémentaires peuvent être exigées dans certaines installations afin d'empêcher l'accès par excavation au-dessous de la clôture.

La clôture/le mur extérieurs doivent avoir une hauteur d'au moins 1 800 mm. Le bord inférieur d'une clôture ne doit pas se trouver à plus de 50 mm du sol (pour les espaces libres minimaux, voir la Figure 2).

Les portes d'accès aux installations extérieures doivent être équipées de verrous de sûreté.

Les clôtures/murs extérieurs et les portes d'accès doivent être marqués au moyen de panneaux de sécurité conformément à 8.8.

Dans certains cas, pour des raisons de sécurité du public, des mesures supplémentaires peuvent se révéler nécessaires.

Le degré de protection IP1X (CEI 60529) doit être appliqué.

NOTE L'utilisation de clôtures métalliques grillagées avec une taille de maille de 50 mm × 200 mm (largeur × hauteur) est applicable si la conception de la clôture empêche l'entrée de personnes non autorisées.

7.3 Installations ouvertes en bâtiment

La disposition des installations ouvertes en bâtiment doit tenir compte des espaces libres minimaux entre phases et entre phase et terre spécifiés dans l'Article 5.

La conception de l'installation doit être telle qu'elle empêche l'accès aux zones dangereuses en tenant compte de la nécessité d'un accès pour l'exploitation et la maintenance. En conséquence, des distances de sécurité ou des dispositifs de protection permanents à l'intérieur de l'installation doivent être prévus.

En ce qui concerne les espaces libres des barrières de protection, les distances de sécurité et la hauteur minimale, voir 7.2.

En ce qui concerne les bâtiments, couloirs, voies d'évacuation, portes et fenêtres, voir 7.5.

En ce qui concerne les murs pleins ou les écrans de moins de 1 800 mm de haut et les rails, chaînes ou cordes, les espaces libres minimaux des obstacles de protection sont au moins de

$$O_1 = N + 200 \text{ mm (minimum 500 mm, voir la Figure 1)}$$

Pour les chaînes ou les cordes, les valeurs doivent être augmentées afin de tenir compte de leur fléchissement. Le cas échéant, elles doivent être installées à une hauteur minimale de 1 200 mm à 1 400 mm au maximum.

7.4 Installation de l'appareillage préfabriqué soumis à essai de type

7.4.1 Généralités

Le présent paragraphe stipule les exigences supplémentaires des matériels qui s'appliquent aux connexions extérieures, à la construction et à l'exploitation sur le lieu de l'installation. L'installation doit être dimensionnée et conçue afin d'éviter tout danger pour les personnes et tout dommage aux biens, en tenant compte du type d'installation et des conditions locales.

L'appareillage à haute tension soumis à essai de type et fabriqué en usine doit être fabriqué et soumis à l'essai conformément aux normes CEI applicables, telles que la CEI 62271-1:2007, la CEI 62271-200, la CEI 62271-201 et la CEI 62271-203.

NOTE Dans certains pays, l'appareillage conforme à la CEI 62271-201 peut être considéré comme une installation intérieure de type libre.

L'appareillage doit être bien adapté à ses objectifs, clairement agencé et conçu de telle manière que les éléments essentiels soient accessibles en vue de la construction, l'exploitation et la maintenance. Des arrangements et des accès doivent être prévus afin de permettre le montage sur site. Il convient de prendre en considération les agrandissements éventuels futurs.

Des arrangements appropriés doivent être prévus pour les connexions extérieures. Les conducteurs et les câbles doivent être choisis et agencés de façon à assurer un niveau d'isolement de sécurité entre les conducteurs et entre chaque conducteur et les structures métalliques de mise à la terre avoisinantes.

Des dispositifs de sécurité qui ont pour but de réduire la pression interne de l'appareillage qui résulte d'un défaut, doivent être conçus et agencés en tenant compte du danger potentiel qu'ils représentent pour le personnel. On doit empêcher l'accumulation de concentrations dangereuses de produits de la décomposition des gaz dans les salles d'appareillage.

7.4.2 Exigences supplémentaires relatives aux appareillages à gaines métalliques à isolement au gaz (GIS)

7.4.2.1 Conception

Si des plates-formes et des échelles sont nécessaires à des fins d'exploitation et de maintenance, elles doivent être conçues et agencées de façon à assurer un accès du personnel en toute sécurité. Ces éléments peuvent être fixes ou amovibles.

Si nécessaire, des arrangements doivent être prévus pour protéger l'appareillage contre les vibrations dangereuses provenant des transformateurs/réactances avec connexions à isolement au gaz. En cas de nécessité, des soufflets doivent être mis en place pour permettre la dilatation due à la chaleur, les tolérances de construction et les mouvements des fondations.

En ce qui concerne les installations à isolement au gaz avec plusieurs chambres de pression, des étiquettes claires doivent être apposées avec indication de la construction de l'installation et de la position des cloisonnements. Les dispositifs de surveillance continue doivent être clairement marqués et situés de façon à permettre un contrôle facile.

Les canalisations et raccords de gaz dans des zones où l'on prévoit des dommages mécaniques doivent être protégés.

Lorsqu'il existe une possibilité de les confondre avec d'autres canalisations, les canalisations de gaz SF_6 doivent être marquées.

7.4.2.2 Montage sur site

Le montage de l'appareillage à isolement au gaz (GIS) doit être réalisé dans un environnement propre.

En ce qui concerne les installations extérieures, il peut se révéler nécessaire de prévoir une enceinte temporaire appropriée au-dessus de la zone de travaux afin de protéger les matériels des conditions environnementales pendant que l'installation et/ou la maintenance sont en cours.

En ce qui concerne la manipulation du gaz SF_6, voir 9.4.

Pour les fuites de gaz SF_6, voir 8.8.2 et 8.8.3.

7.4.2.3 Protection contre les surtensions

Il convient normalement de prévoir une protection du GIS contre les surtensions par les parafoudres installés sur les lignes d'alimentation. Dans certains cas, la protection qu'offrent ces matériels peut se révéler inadéquate. Cette situation découle principalement des configurations suivantes:

– longue distance entre le GIS et les transformateurs;
– transformateurs raccordés au GIS au moyen de câbles;
– jeux de barres longs, ouverts à leurs extrémités;
– connexion aux lignes aériennes au moyen de câbles isolés;
– emplacements avec forte probabilité de coups de foudre.

Pour ces configurations, l'installation de parafoudres supplémentaires peut se révéler nécessaire. Il convient que leur emplacement soit fondé sur l'expérience dans des situations analogues ou sur des calculs.

7.4.2.4 Mise à la terre

Il convient que l'enceinte d'un GIS soit raccordée à une installation de mise à la terre au moins aux points suivants:

a) à l'intérieur des travées:
   - à proximité du disjoncteur;
   - à proximité de l'embout obturateur du câble;
   - à proximité du manchon à air/gaz SF_6;
   - à proximité du transformateur de mesure.

b) sur les jeux de barres:
   - aux deux extrémités et aux points intermédiaires selon la longueur des jeux de barres.

Les trois enceintes d'un GIS de type monophasé doivent être liées ensemble ~~avant la mise à la terre~~ avec des connections courtes et mises à la terre au moins à la fin de l'enceinte des lignes d'alimentation sortantes et entrantes. Le conducteur de liaison doit avoir une valeur assignée permettant de transporter le courant nominal des travées et des jeux de barres, ou, si on utilise un conducteur de liaison dont la valeur assignée est inférieure, il doit alors être démontré par des essais qu'aucun danger ne se produira en cours d'exploitation.

Des bandes de liaison supplémentaires ne sont pas nécessaires aux joints par bride s'il est possible d'assurer que la pression de contact de la bride fournit une connexion électrique adéquate pour des fréquences élevées.

Les conducteurs de mise à la terre des parafoudres destinés à la protection des installations à isolement au gaz doivent être raccordés à l'enceinte par une connexion aussi courte que possible.

Il convient que les gaines métalliques (par exemple, enceintes métalliques, couvercles blindés, grillages) de câbles avec tensions nominales de plus de 1 kV soient connectées directement à l'enceinte du GIS.

Dans certains cas spéciaux, par exemple, protection cathodique des câbles, il peut se révéler nécessaire de séparer la connexion à la terre des câbles par rapport à l'enceinte du GIS. Dans ce cas, il est recommandé d'installer un dispositif de protection contre les surtensions entre l'embout obturateur et l'enceinte.

7.5 Exigences relatives aux bâtiments

7.5.1 Introduction

Les bâtiments doivent respecter les codes de construction et réglementations relatives aux incendies au niveau national. En l'absence de telles normes nationales, il est possible d'utiliser ce qui suit comme guide.

Le présent paragraphe stipule les exigences qui doivent être respectées dans les zones ou emplacements où sont installés des matériels électriques destinés à des installations à haute tension. Pour les besoins de la présente norme, les postes préfabriqués couverts par la CEI 62271-202 ne sont pas considérés comme des bâtiments.

7.5.2 Dispositions structurelles

7.5.2.1 Généralités

Les structures portantes de charges, les cloisons de séparation, les revêtements, les enceintes, etc. doivent être choisis de façon à ce qu'ils puissent supporter la charge combustible prévue.

Les zones d'exploitation électriques doivent être conçues de façon à empêcher la pénétration d'eau et à réduire la condensation au minimum.

Les matériaux utilisés pour les murs, plafonds et planchers doivent, dans toute la mesure du possible, ne pas être endommagés par la pénétration ou les fuites d'eau. Si cette exigence ne peut être satisfaite, des mesures de prévention doivent être prises afin d'éviter les conséquences d'une fuite ou de la condensation qui affectent la sécurité opérationnelle.

La conception des bâtiments doit tenir compte de la charge mécanique et de la pression interne prévues produites par un défaut avec arc.

Les canalisations et autres matériels, s'ils sont autorisés dans les postes, doivent être conçus de manière à ce que l'installation électrique ne s'en trouve pas affectée, même en cas de dommage.

7.5.2.2 Spécifications relatives aux murs

Les murs extérieurs du bâtiment doivent avoir une résistance mécanique suffisante pour les conditions environnementales.

La résistance mécanique des bâtiments doit être suffisante pour résister à toutes les charges statiques et dynamiques dues à l'exploitation normale de l'installation.

Le passage des canalisations ou des systèmes de câblage ne doit pas affecter l'intégrité structurale des murs.

Les parties métalliques qui passent à travers les murs doivent satisfaire aux exigences de l'Article 10.

Les panneaux de la surface extérieure des bâtiments qui sont accessibles au public ne doivent pas pouvoir être démontés de l'extérieur. Les matériaux qui constituent les enceintes extérieures doivent être en mesure de supporter les attaques des éléments atmosphériques (pluie, soleil, agressivité du vent, etc.).

7.5.2.3 Fenêtres

Les fenêtres doivent être conçues de manière à en rendre la pénétration difficile. Cette exigence est considérée comme satisfaite si une ou plusieurs des mesures suivantes sont appliquées:

– la fenêtre est construite en matériau incassable;
– la fenêtre est grillagée;
– le bord inférieur de la fenêtre se situe au moins à 1,8 m au-dessus du niveau d'accès;
– le bâtiment est entouré d'une clôture extérieure d'au moins 1,8 m de haut.

7.5.2.4 Toits

Le toit du bâtiment doit avoir une résistance mécanique suffisante pour supporter les conditions environnementales.

Si le plafond de la salle de l'appareillage est également le toit du bâtiment, l'ancrage du toit sur les murs doit être approprié en matière d'évacuation de la pression.

7.5.2.5 Planchers

Les planchers doivent être plats et stables et être en mesure de supporter les charges statiques et dynamiques.

7.5.3 Salles des appareillages

Les dimensions de la salle et des ouvertures d'évacuation de pression nécessaires dépendent du type d'appareillage et du courant de court-circuit.

Si des ouvertures d'évacuation de pression sont nécessaires, elles doivent être aménagées et situées de telle sorte que lorsqu'elles fonctionnent (soufflage dû à un défaut d'arc), le danger pour les personnes et tout dommage aux biens soient minimisés.

7.5.4 Zones de maintenance et d'exploitation

Les zones de maintenance et d'exploitation comprennent les allées, zones d'accès, passages destinés à la manutention et voies d'évacuation.

Les allées et les zones d'accès doivent avoir des dimensions appropriées pour permettre l'exécution des travaux, le fonctionnement de l'appareillage et le transport des matériels.

Les allées doivent avoir une largeur d'au moins 800 mm.

La largeur des allées ne doit pas être réduite même lorsque les matériels y font saillie, par exemple, mécanismes de fonctionnement installés de façon permanente ou chariots d'appareillage en position isolée.

L'espace d'évacuation doit toujours avoir une dimension minimale de 500 mm, même lorsque des parties amovibles ou des portes ouvertes, bloquées dans la direction de l'évacuation, empiètent sur les voies d'évacuation.

En ce qui concerne les passages d'accès de montage ou de service derrière les installations fermées (murs pleins), une largeur minimale de 500 mm est exigée.

Le personnel doit avoir à tout moment un accès libre et en toute sécurité.

NOTE Il convient que les portes des compartiments ou des travées de l'appareillage se ferment dans la direction d'évacuation.

Une hauteur minimale de 2 000 mm est exigée sous les plafonds, couvertures ou enceintes, sauf en ce qui concerne les accès de câbles.

Des issues doivent être aménagées de façon à ce que la longueur de la voie d'évacuation à l'intérieur de la salle ne dépasse pas 40 m pour l'installation de tensions assignées U_{m} de plus de 52 kV, et 20 m pour l'installation de tensions assignées allant jusqu'à U_{m} = 52 kV. Cela ne s'applique pas aux conduits accessibles des barres ou aux conduits de câbles. Si les distances ci-dessus des voies d'évacuation ne peuvent être réalisées, un accord avec l'utilisateur doit être obtenu.

Les échelles ou dispositifs analogues installés en permanence sont autorisés comme issues de secours sur les voies d'évacuation.

7.5.5 Portes

Les portes d'accès doivent être équipées de verrous de sécurité pour éviter tout accès non autorisé.

Les portes d'accès doivent s'ouvrir vers l'extérieur et être munies de panneaux de sécurité conformément à 8.9.

Les portes qui s'ouvrent sur l'extérieur doivent être en matériau de faible inflammabilité, sauf lorsque le bâtiment est entouré par une clôture extérieure d'au moins 1,8 m de hauteur.

Il n'est pas exigé que les portes entre les diverses salles d'un local électrique fermé soient équipées de verrous.

Il doit être possible d'ouvrir les portes de secours depuis l'intérieur sans l'aide d'une clé, en utilisant un loquet ou un autre moyen simple, même lorsqu'elles sont verrouillées depuis l'extérieur. Il n'est pas nécessaire de satisfaire à cette exigence pour les petites installations où la porte doit rester ouverte pendant l'exploitation ou l'entretien.

La hauteur minimale d'une porte de secours doit être de 2 m et l'ouverture totale minimale de 750 mm.

7.5.6 Evacuation des liquides isolants

Des mesures de protection doivent être prises lorsque des liquides isolants sont utilisés (voir également 8.8).

7.5.7 Climatisation et ventilation

On doit établir des conditions climatiques intérieures adéquates, par exemple, au moyen d'un refroidissement, d'un chauffage, d'une déshumidification, d'une ventilation appropriés, ou par la conception appropriée du bâtiment.

En ce qui concerne les salles de transformateurs, il est préférable d'employer une ventilation naturelle.

Les systèmes de ventilation forcée (permanents ou mobiles) doivent être conçus afin de tenir compte de l'évacuation des fumées du bâtiment.

Il est recommandé d'assurer la surveillance continue du fonctionnement d'un ventilateur permanent.

Les ouvertures de ventilation doivent être conçues de façon à empêcher tout voisinage dangereux auprès des parties actives et toute pénétration dangereuse de corps étrangers.

Les fluides de refroidissement et agents caloporteurs ne doivent pas contenir d'impuretés mécaniques ou de substances chimiques agressives en quantités ou qualités qui peuvent être dangereuses pour le bon fonctionnement des matériels de l'installation.

Des filtres ou des échangeurs de chaleur doivent être prévus, si nécessaire.

Les systèmes de ventilation mécanique doivent être agencés et placés de manière à pouvoir en effectuer l'inspection et la maintenance même lorsque l'appareillage fonctionne.

7.5.7.1 Ventilation des locaux batteries

Les locaux contenant des batteries doivent prendre en compte les exigences de ventilation, si nécessaire, selon les types de batteries, afin d'empêcher l'accumulation de gaz combustibles explosifs lors de la charge des batteries.

7.5.7.2 Locaux pour générateurs de secours

Il convient de considérer l'installation de générateurs de secours dans des locaux séparés.

Une ventilation doit être prévue. Des fosses doivent être prévues pour recevoir et contrôler les pertes de combustible ou d'huile lubrifiante.

Les systèmes d'échappement des moteurs doivent être installés et disposés de manière que les fumées ne soient pas aspirées par la prise d'air de ventilation des salles d'appareillage et de commande, ou par la prise d'air du générateur de secours.

7.5.8 Bâtiments qui exigent un examen particulier

En ce qui concerne les installations à haute tension situées dans des bâtiments publics ou résidentiels, des conditions particulières doivent être remplies conformément aux normes ou réglementations nationales en vigueur.

7.6 Postes préfabriqués à haute tension/basse tension

En ce qui concerne les règlements relatifs à la construction et aux essais, voir la CEI 62271-202.

Les postes compacts doivent être situés de façon à ce que la circulation routière ne soit pas susceptible de les endommager. Un espace adéquat aux fins d'exploitation et de maintenance doit également être prévu.

7.7 Installations électriques sur mât, pylône et tour

La hauteur minimale H' des parties actives au-dessus des surfaces accessibles au public doit être de

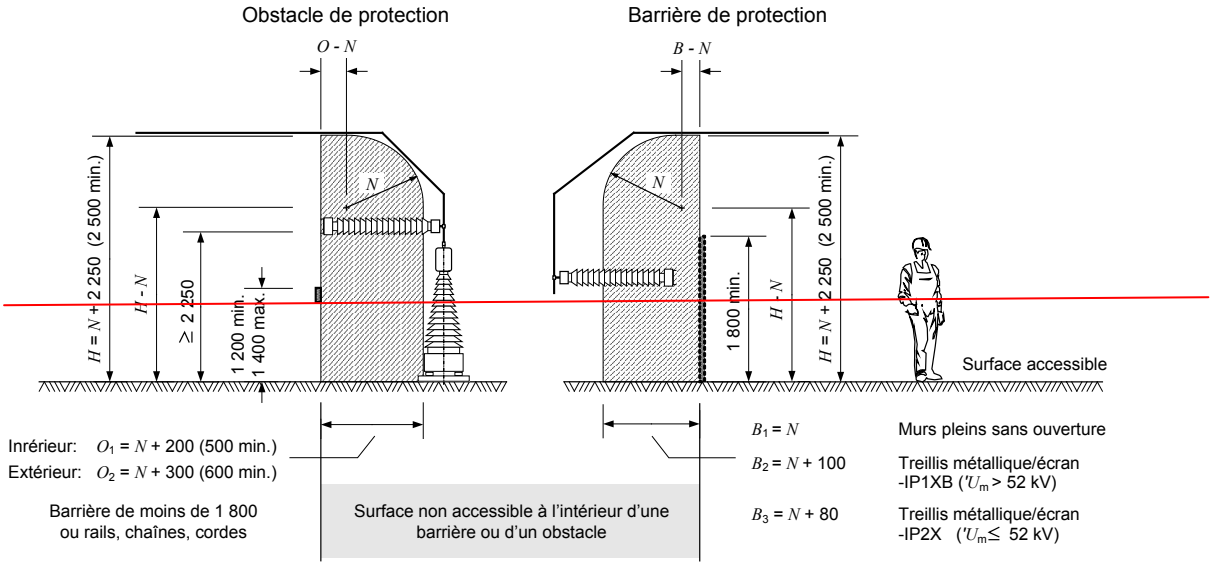
- H' = 4 300 mm pour les tensions assignées U_m jusqu'à 52 kV;
- H' = N + 4 500 mm (minimum 6 000 mm) pour des tensions assignées U_m au-dessus de 52 kV;

où N est l'espace libre minimal.

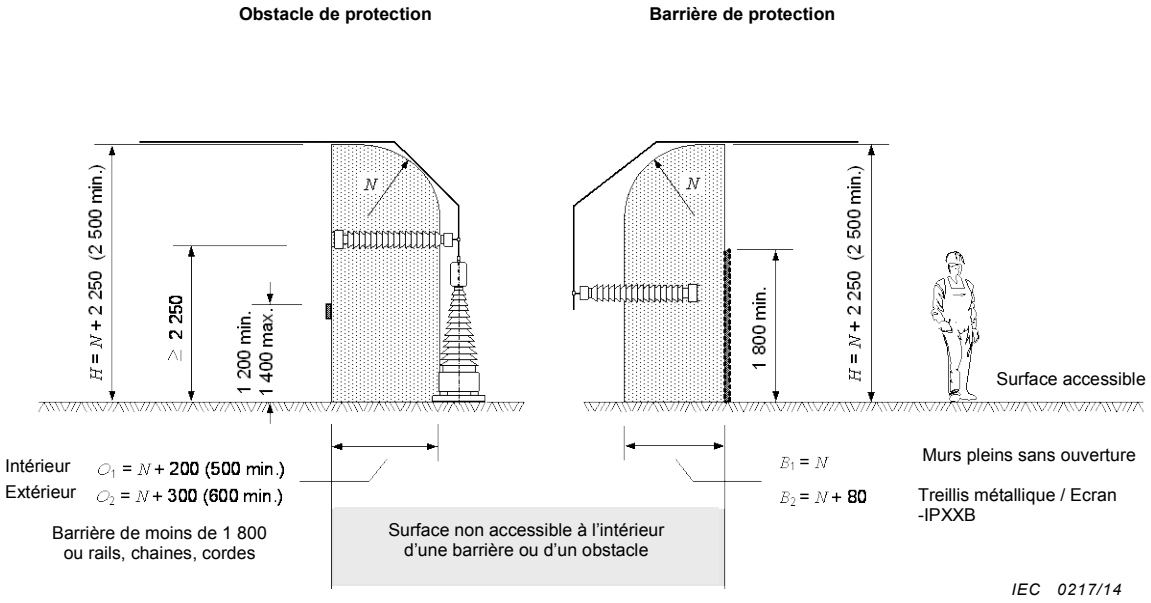
Lorsque la réduction des distances de sécurité due à l'effet de la neige sur les surfaces accessibles doit être prise en considération, les valeurs indiquées ci-dessus doivent être augmentées.

Les dispositifs d'isolement et les fusibles doivent être agencés de sorte à ce qu'ils puissent fonctionner sans danger. Les dispositifs d'isolement accessibles au public doivent pouvoir être verrouillés. Les barres opérationnelles doivent être conformes à la norme applicable.

Une mise à la terre et en court-circuit sûre des phases de la ligne aérienne doit être possible.



Dimensions en millimètres



Dimensions en millimètres

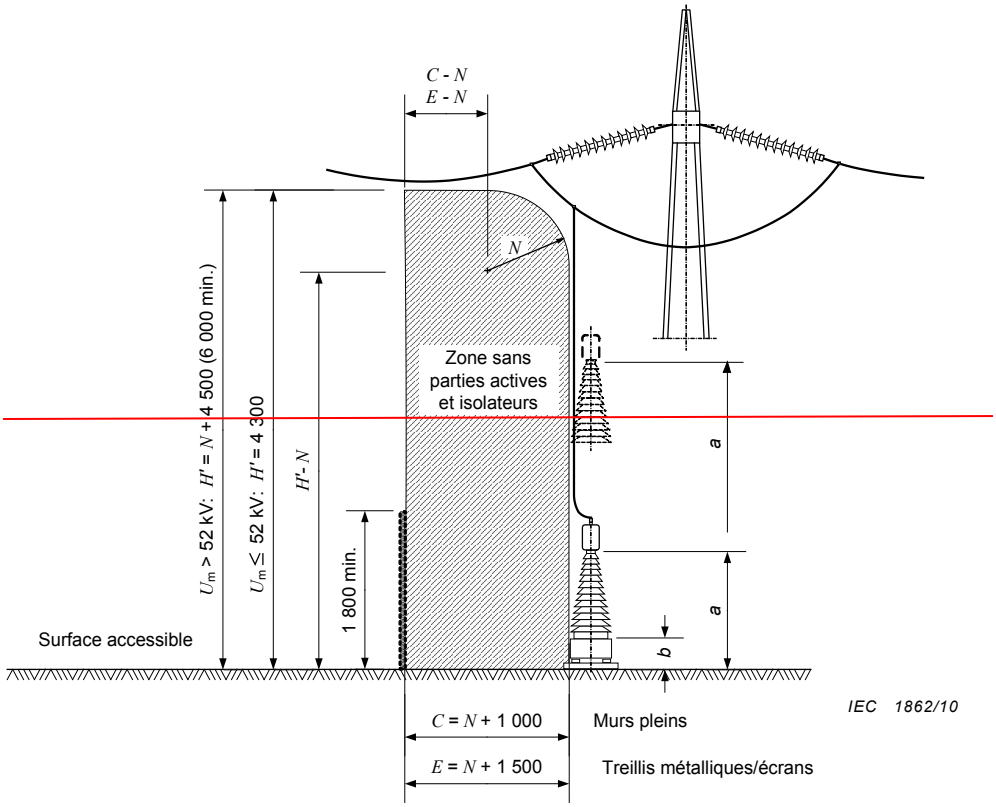
Légende

N Espace libre minimal

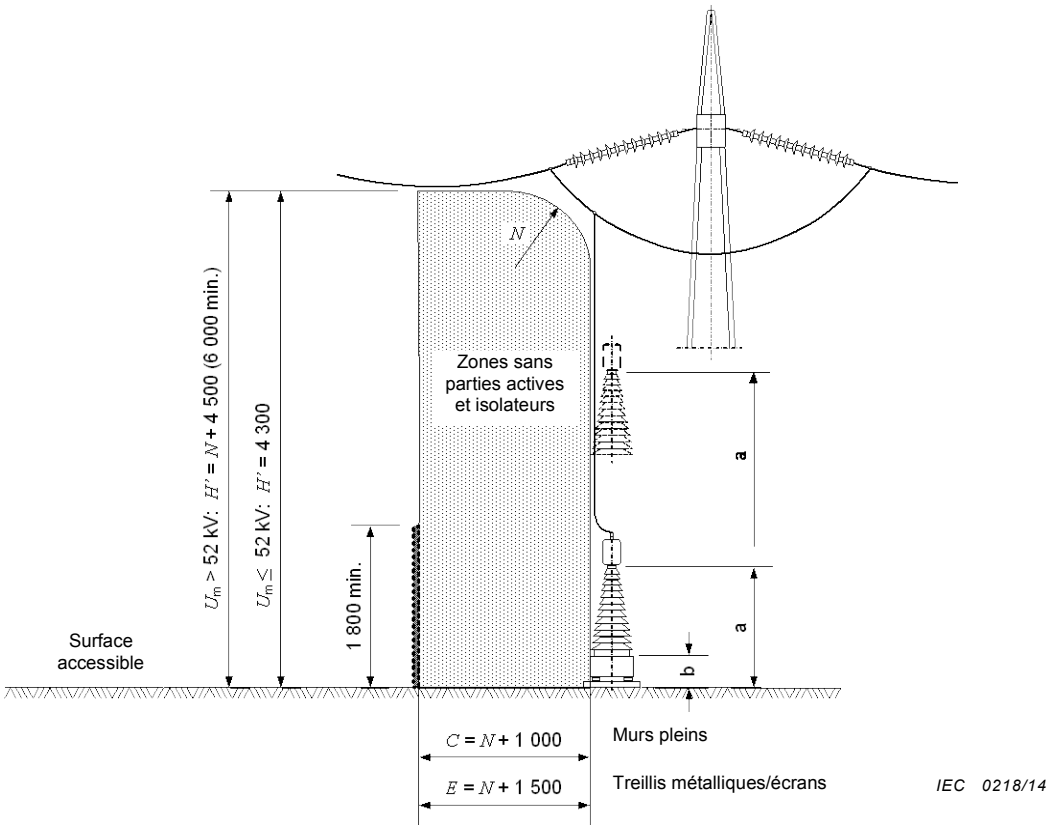
O Espace libre de l'obstacle

B Espace libre de la barrière

Figure 1 – Protection contre les contacts directs au moyen de barrières/obstacles de protection à l'intérieur de locaux électriques fermés



Dimensions en millimètres



Dimensions en millimètres

Légende

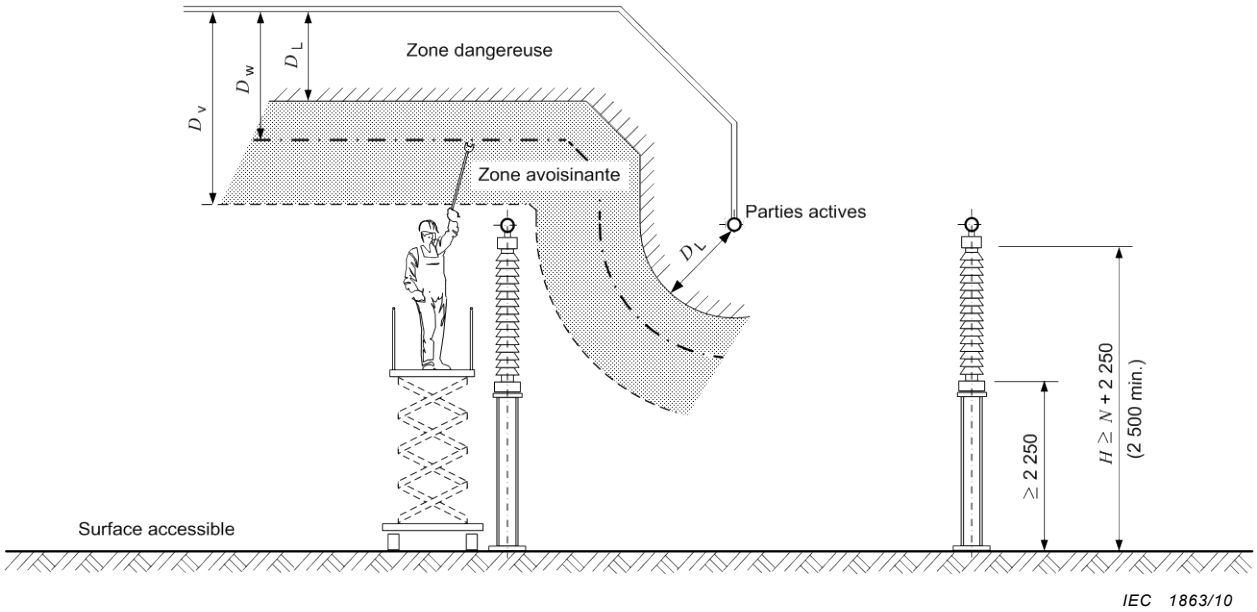
N Espace libre minimal

H' Espace libre minimal des parties actives au-dessus de la surface accessible de la clôture extérieure

a Si la distance aux parties actives est inférieure à H, une protection par barrières ou obstacles doit être prévue

b Si cette distance est inférieure à 2 250 mm, une protection par barrières ou obstacles doit être prévue

Figure 2 – Distances des limites et hauteur minimale à la clôture/mur extérieurs



Dimensions en millimètres

Légende

D_L N

D_V N + 1 000 pour $U_n \leq 110$ kV

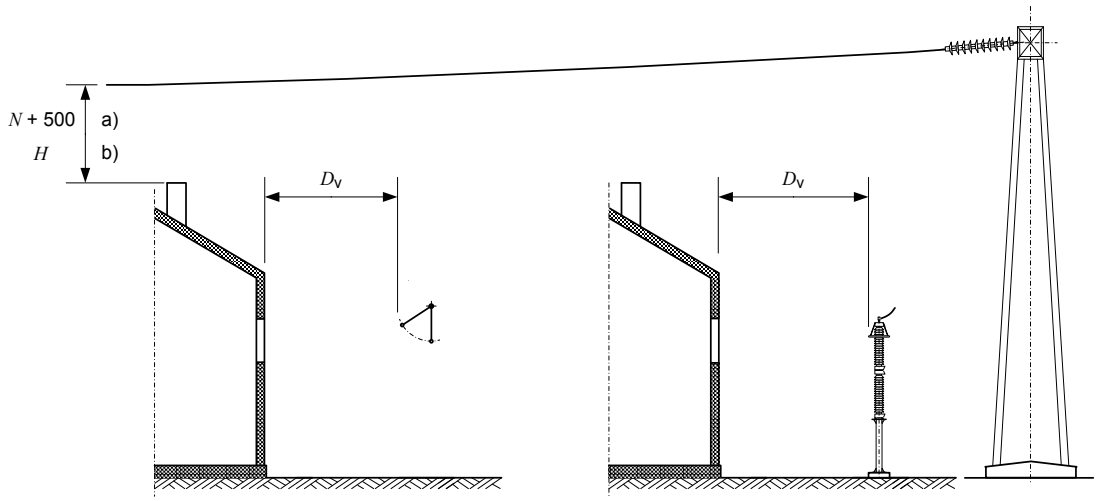
D_V N + 2 000 pour $U_n > 110$ kV

D_W Distance de travail conformément aux normes ou règlements nationaux

N Espace libre minimal

H Hauteur minimale

Figure 3 – Hauteurs et distances de travail minimales à l'intérieur de locaux électriques fermés



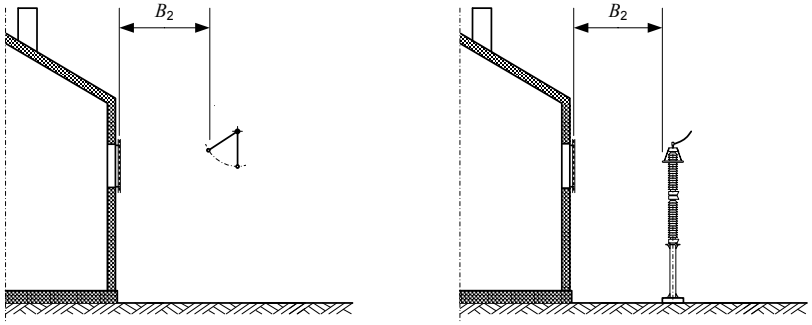
N Espace libre mininal H Hauteur mininale

a) Le toit n'est pas accessible lorsque les conducteurs sont sous tension
b) Le toit est accessible lorsque les conducteurs sont sous tension

$D_V = N + 1\,000$ pour $U_n \leq 110$ kV
$D_V = N + 2\,000$ pour $U_n > 110$ kV

IEC 1864/10

Figure 4a – Mur extérieur avec fenêtres non grillagées

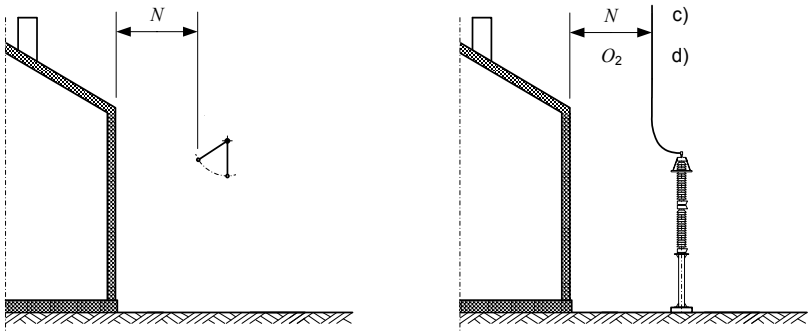


$B_2 \geq N + 100$

N Espace libre mininal

IEC 1865/10

Figure 4b – Mur extérieur avec fenêtres grillagées



N Espace libre minimal

c) N Si le toit n'est pas accessible lorsque les conducteurs sont sous tension
d) $O_2 \geq N + 300$ (600 min.) Si le toit est accessible lorsque les conducteurs sont sous tension

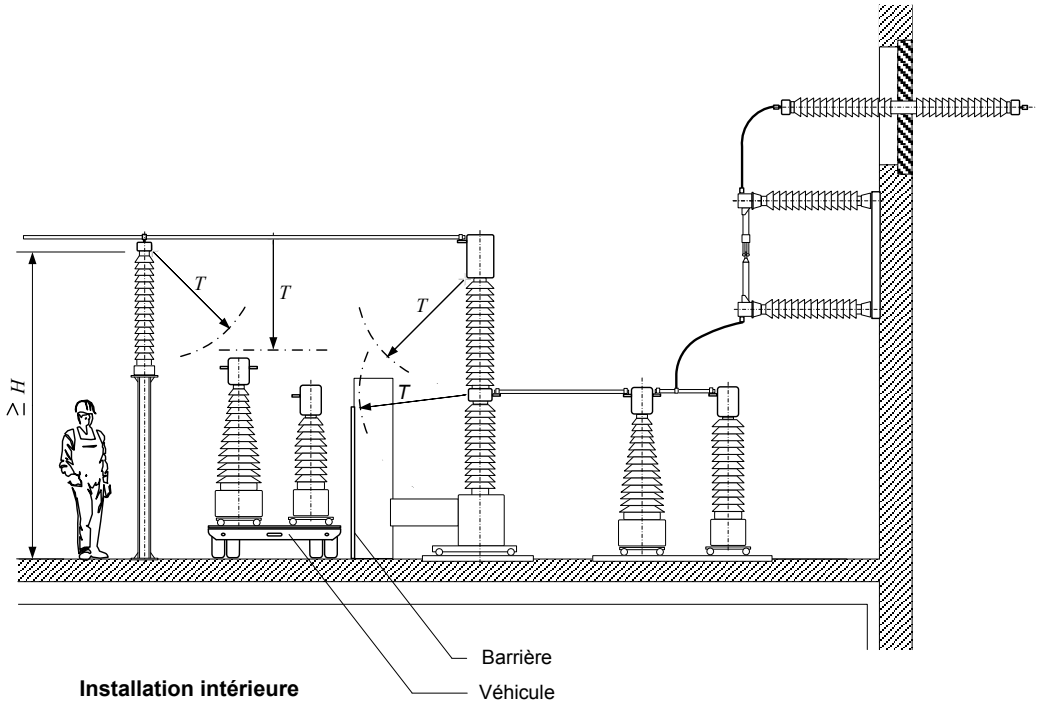
IEC 1866/10

Figure 4c – Mur extérieur sans fenêtre

Dimensions en millimètres

NOTE Lorsque des travaux sont réalisés sur le toit et les conducteurs sont actifs, il convient que les espaces libres de la Figure 3 soit appliquer.

Figure 4 – Approches avec bâtiments (à l'intérieur de locaux électriques fermés)

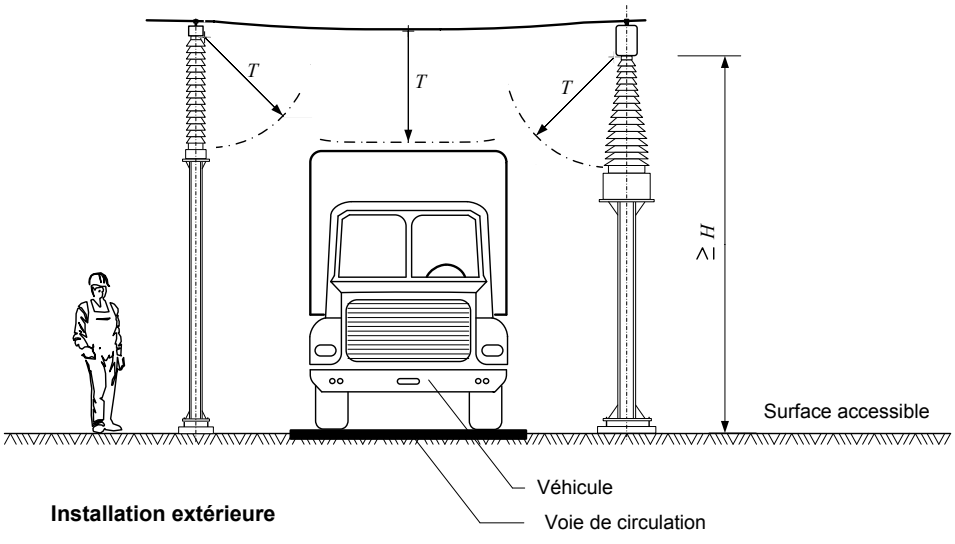


Installation intérieure

$T = N + 100$ (500 min.)

N = Espace libre minimal

IEC 1867/10



Installation extérieure

IEC 1868/10

Dimensions en millimètres

Figure 5 – Distance minimale d'approche pour le transport

8 Mesures de sécurité

8.1 Généralités

Les installations doivent être réalisées de façon à permettre au personnel d'exploitation et de maintenance de circuler et d'intervenir dans le cadre de ses tâches et de ses autorisations, suivant les circonstances, en tout point de l'installation.

Les travaux particuliers de maintenance, de préparation et de réparation impliquant de travailler au voisinage ou sur des parties actives, sont régis par les règles, procédures et distances de travail définies dans les normes et règlements nationaux.

8.2 Protection contre les contacts directs

Les installations doivent être réalisées de façon à éviter tout contact accidentel avec les parties actives ou une pénétration fortuite dans une zone dangereuse à proximité des parties actives.

Une protection doit être prévue pour les parties actives, celles ne possédant qu'une isolation fonctionnelle et celles pouvant propager un potentiel dangereux.

Des exemples de telles parties sont les suivants:

– parties actives accessibles;
– parties d'installations dans lesquelles les gaines métalliques reliées à la terre ou les écrans conducteurs des câbles ont été retirés;
– câbles et accessoires sans gaine métallique mise à la terre ou sans écran conducteur élastomère relié à la terre, ainsi que les câbles souples sans écran conducteur élastomère;
– extrémités et gaines conductrices de câbles, si elles peuvent propager une tension dangereuse;
– corps isolants d'isolateurs et autres parties semblables, par exemple, matériel électrique isolé par de la résine moulée, si une tension de contact dangereuse peut apparaître;
– châssis ou boîtiers de condensateurs, convertisseurs et transformateurs convertisseurs qui peuvent présenter une tension dangereuse en fonctionnement normal;
– enroulements de machines électriques, de transformateurs et de réactances à noyau d'air.

La protection peut être obtenue par différents moyens, selon que l'installation est placée ou non dans un local électrique fermé.

La CEI 61140 contient des informations sur la protection contre les chocs électriques.

8.2.1 Mesures de protection contre les contacts directs

8.2.1.1 Mesures de protection reconnues

Les types de protection suivants sont reconnus:

– protection par enveloppe;
– protection par barrière;
– protection par obstacle;
– protection par mise hors de portée.

8.2.1.2 Conception des mesures de protection

Les barrières de protection peuvent être des murs pleins, des portes ou des écrans (treillis métallique) d'une hauteur minimale de 1 800 mm afin qu'aucune partie du corps humain ne puisse atteindre la zone dangereuse à proximité des parties actives.

Les obstacles de protection peuvent être, par exemple, des capots, des rails, des chaînes et des câbles aussi bien que des murs, des portes et des écrans de moins de 1 800 mm de hauteur et ne peuvent de ce fait être considérés comme des barrières de protection.

La protection par mise hors de portée est obtenue en plaçant les parties actives hors d'une zone s'étendant à partir de toute surface où des personnes peuvent se tenir ou se déplacer habituellement, jusqu'aux limites qu'une personne peut atteindre en étendant le bras dans toutes les directions (voir l'Article 7).

Les dispositifs de protection utilisés comme mesure de protection contre les contacts directs, tels que les murs, capots, obstacles de protection, etc., doivent être mécaniquement robustes et solidement fixés.

Les portes des locaux contenant l'appareillage ou celles des travées utilisées comme partie d'une enveloppe doivent être conçues de telle sorte qu'elles ne puissent être ouvertes qu'à l'aide d'un outil ou d'une clé. Dans les zones extérieures aux locaux électriques fermés, ces portes doivent être munies de verrous de sécurité.

Les dispositifs de protection démontables et conducteurs doivent être fixés de façon telle que, s'ils sont correctement utilisés, l'espace libre minimal approprié soit maintenu (barrière ou obstacle de protection). Dans les autres cas, ils doivent être constitués de matériaux isolants ou de bois sec. Il est permis qu'un rail puisse être démonté sans l'aide d'un outil. Les rails de protection doivent être rigides.

Dans les zones ou locaux accessibles au public, les dispositifs de protection ne doivent pas pouvoir être enlevés facilement depuis l'extérieur avec des outils courants.

8.2.2 Exigences de protection

8.2.2.1 Protection à l'extérieur des locaux électriques fermés

A l'extérieur des locaux électriques fermés, seule la protection par enveloppe ou par mise hors de portée est admise.

Lorsque la protection par enveloppe est utilisée, le degré de protection minimal doit être IP2XC.

NOTE A titre d'exception peuvent être admis des orifices de ventilation tels qu'une tige métallique rectiligne ne puisse provoquer un danger en pénétrant dans le matériel et en s'approchant des parties devant être protégées contre les contacts directs.

Lorsque la protection par mise hors de portée est utilisée, les espaces libres verticaux entre les surfaces accessibles et les parties à protéger contre les contacts directs doivent être conformes à 7.2.6 ou à la Figure 2.

8.2.2.2 Protection à l'intérieur des locaux électriques fermés

A l'intérieur des locaux électriques fermés, la protection par enveloppe, barrière, obstacle ou mise hors de portée est admise.

Lorsque la protection par enveloppe est utilisée, le degré de protection doit respecter au minimum les exigences de IP2X. Cependant, des mesures de protection spéciales contre les dangers dus à des défauts d'arc peuvent être nécessaires.

Lorsque la protection par barrière est utilisée, voir 7.2.1.

Lorsque la protection par obstacle est utilisée, voir 7.2.2 et 7.3.

Lorsque la protection par mise hors de portée est utilisée, voir 7.2.4 et 7.2.5.

NOTE Pour des exigences plus détaillées concernant les clôtures extérieures, les voies de circulation, les croisements et les accès aux bâtiments, etc., voir l'Article 7.

8.2.2.3 Protection en exploitation normale

NOTE Il convient de prendre en compte les normes applicables pour l'exploitation des installations électriques.

Les mesures de protection dans une installation doivent tenir compte de la nécessité d'y accéder pour les opérations d'exploitation, de contrôle et d'entretien telles que:

– la commande d'un disjoncteur ou d'un sectionneur;
– le changement d'un fusible ou d'une lampe;
– l'ajustement de la valeur de réglage d'un dispositif;
– le réglage d'un relais ou d'un indicateur;
– la mise à la terre pour une intervention;
– le montage d'un volet temporaire d'isolement;
– la lecture de la température ou du niveau d'huile d'un transformateur.

Dans des installations de tension $U_m \leq 52$ kV, dans lesquelles des portes ou des capots doivent être ouverts pour l'exploitation normale ou pour l'entretien, il peut être nécessaire de prévoir des rails de protection fixes non conducteurs à titre de mise en garde.

8.3 Dispositions de protection des personnes contre le contact indirect

Les mesures à prendre pour protéger les personnes contre le contact indirect sont données à l'Article 10.

La CEI 61140 contient des informations sur la protection contre les chocs électriques.

8.4 Dispositions de protection des personnes travaillant sur des installations électriques

Les installations électriques doivent être construites et installées de manière à garantir que les mesures nécessaires à la protection des personnes travaillant dans ou sur les installations électriques puissent être appliquées. Les normes appropriées pour l'exploitation et l'entretien des installations de puissance électrique doivent également être prises en compte. Les procédures de travail doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

NOTE Si des fonctions individuelles sont traitées dans des paragraphes séparés, ces fonctions peuvent être regroupées au sein d'un même matériel.

8.4.1 Matériel pour l'isolement des installations ou des appareils

Le matériel fourni doit permettre d'isoler tout ou partie de l'installation selon les exigences d'exploitation.

Cela peut être réalisé par des sectionneurs ou interrupteurs-sectionneurs (voir 6.2.1) ou en déconnectant une partie de l'installation, par exemple, en enlevant des barrettes ou des bretelles. Dans le dernier cas, voir 5.4.1

Les installations ou parties d'installations qui peuvent être alimentées à partir de plusieurs sources doivent être conçues de façon à ce que toutes les sources puissent être isolées des points d'alimentation à partir desquelles chaque section ou partie peut être sous tension.

Si les points neutres de plusieurs matériels sont connectés à un neutre commun, il doit être possible d'isoler chaque point neutre individuellement. Cela s'applique également aux bobines et résistances de mise à la terre associées. La protection contre les surtensions doit être maintenue en fonctionnement.

Lorsque des matériels peuvent être chargés sous une certaine tension après déconnexion de l'installation, par exemple, des condensateurs, des dispositifs doivent être prévus pour la décharge de ces matériels.

Les distances de séparation ne peuvent être court-circuitées par des isolateurs que si les courants de fuite entre bornes de part et d'autre sont évités.

8.4.2 Dispositifs pour empêcher le réenclenchement des dispositifs de sectionnement

Des dispositifs appropriés doivent être prévus pour rendre inopérante la force d'action (c'est-à-dire la tension d'un ressort, une pression pneumatique, l'énergie électrique) ou la commande des mécanismes de puissance permettant le fonctionnement des appareillages utilisés pour le sectionnement.

NOTE Dans certains pays, la réglementation peut exiger que ces dispositifs soient rendus inopérants par des moyens de verrouillage appropriés.

Lorsque des parties amovibles, telles que des fusibles ou des disjoncteurs à vis, sont utilisées pour une déconnexion complète et sont remplacées par des culots ou des bouchons, ces culots ou bouchons ne doivent pouvoir être enlevés qu'à l'aide d'un outil ~~agréé~~ adapté.

Des interrupteurs à commande manuelle doivent permettre d'utiliser des dispositifs mécaniques de verrouillage pour éviter toute reconnexion au réseau suite à un isolement.

8.4.3 Dispositifs de vérification de l'absence de tension

Des dispositifs de vérification de l'absence de tension des matériels doivent être prévus si nécessaire, conformément aux exigences d'exploitation. L'importance de telles dispositions – lorsque la pratique le permet - doit faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

Tous les dispositifs fournis doivent permettre de vérifier l'absence de tension à tous les points où le travail doit être exécuté et qui étaient précédemment sous tension, sans danger pour les personnes exécutant le travail.

Du matériel fixe (voir la CEI 62271-206) ou des dispositifs mobiles (voir la série CEI 61243) peuvent être utilisés pour ~~satisfaire à cette~~ respecter ces exigences.

8.4.4 Dispositifs de mise à la terre et en court-circuit

Chaque partie d'une installation pouvant être séparée du réseau doit pouvoir être mise à la terre et en court-circuit.

Le matériel (par exemple transformateurs ou condensateurs) doit être mis en œuvre avec le matériel de mise à la terre et en court-circuit à proximité. Cette exigence ne doit pas s'appliquer aux parties d'un système où elle se révèle non réalisable ou inadéquate (par exemple, des transformateurs ou des machines électriques avec des extrémités de câble avec collerette de montage ou avec des boîtes de connexion). Dans ces cas, la mise à la terre et en court-circuit doit être effectuée par mises à la terre du circuit principal dans les armoires ou compartiments associés, côtés primaire et secondaire. Dans les conditions normales, il convient de pouvoir mettre à la terre et en court-circuit tous les côtés d'un transformateur, y compris les neutres.

Les dispositifs de mise à la terre et en court-circuit suivants doivent être prévus ou fournis, leur domaine d'application faisant l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur:

– sectionneurs de mise à la terre (soumis à l'essai et/ou à verrouillage, de préférence);
– sectionneurs de mise à la terre montés sur chariots;
– matériel de mise à la terre intégré à d'autres dispositifs de commutation, par exemple, disjoncteurs;

– piquets de mise à la terre et matériel de mise en court-circuit indépendants (voir la CEI 61230);

– piquets de mise à la terre et matériel de mise en court-circuit spécialisés (voir la CEI 61219).

Pour chaque partie d'une installation, des points de connexion de dimensions appropriées et facilement accessibles doivent être prévus sur l'installation de mise à la terre et sur les parties actives, afin de permettre le raccordement du matériel de mise à la terre et en court-circuit. Les armoires ou compartiments de l'appareillage doivent être conçus de façon à ce que le raccordement manuel du matériel de mise à la terre et en court-circuit à la borne de la prise de terre puisse être effectué conformément aux règles de travail au voisinage des parties actives.

Lorsque la mise à la terre et en court-circuit est réalisée par des sectionneurs de mise à la terre commandés à distance, la position du sectionneur doit être transmise d'une façon sûre au point de commande à distance.

Lorsque la mise à la terre est réalisée par un dispositif de coupure en charge ayant des circuits de commande, tous ces circuits doivent être mis hors service à la suite de la mise à la terre du circuit principal. Une ré-alimentation intempestive des circuits de commande doit être impossible.

8.4.5 Matériels agissant comme barrières de protection contre les parties actives voisines

Tous les éléments de cloisonnement tels que murs, planchers, etc. doivent être construits selon 7.2 ou 7.3.

En l’absence de murs ou de dispositifs de protection, la séparation entre les parties ou compartiments voisins doit respecter les distances appropriées.

S'il n'est pas possible de maintenir des distances de travail, les parties actives au voisinage de la zone de travail doivent pouvoir être recouvertes par des cloisons ou parois isolées et mobiles, de manière à prévenir tout contact accidentel avec le corps des personnes, les outils, les matériels et les matériaux.

8.4.5.1 Cloisons isolées et mobiles

Les écrans mobiles et les cloisons isolées et mobiles doivent respecter les exigences suivantes:

a) les bords des volets isolants ne doivent pas être installés dans la zone dangereuse;

b) les distances de sécurité sont admises à l'extérieur de la zone dangereuse:
   – jusqu'à 10 mm de largeur, sans limitation,
   – jusqu'à 40 mm de largeur, à condition que la distance entre le bord du volet et la zone dangereuse soit d'au moins 100 mm,
   – jusqu'à 100 mm de largeur au voisinage des bases des sectionneurs.

Les cloisons isolées et mobiles, utilisées comme barrières de protection contre les parties actives, doivent faire partie du matériel ou être fournies séparément en conformité avec les exigences d’exploitation, après accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

Les cloisons isolées et mobiles doivent pouvoir être fixées de façon à ce que leur position ne puisse être modifiée accidentellement lorsque leur déplacement peut créer un danger.

Les cloisons isolées et mobiles utilisées comme barrières de protection contre les parties actives ne doivent pas toucher les parties actives ou être en contact avec elles.

Il doit être possible d'installer et d'enlever des cloisons isolées et mobiles sans que des personnes soient obligées de pénétrer dans la zone dangereuse.

NOTE Cette condition peut être réalisée par le type de volets isolants (par exemple, une cornière en tôle, des barres isolantes associées, et des tringles de commande appropriées) ou par l'installation (par exemple, des rails-guides).

8.4.5.2 Cloisons mobiles

Pour les installations sans cloisons de séparation installées de façon permanente, il convient de prévoir des cloisons mobiles appropriées pour séparer les armoires ou compartiments voisins sous tension conformément aux exigences d'exploitation. Lorsque cela est spécifié, leurs dimensions doivent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

Les cloisons mobiles qui pénètrent dans la zone dangereuse pendant l'installation ou l'enlèvement, ou qui se trouvent incorporées dans ladite zone lorsqu'elles sont installées, doivent satisfaire à l'exigence relative aux plaques isolantes mobiles.

Les cloisons isolées et mobiles utilisées comme barrières de protection contre les parties actives ne doivent pas toucher les parties actives ou être en contact avec elles.

8.4.6 Stockage de l'équipement de protection individuelle

Si un équipement de protection individuelle doit être stocké dans l'installation, un lieu doit être prévu à cet effet, où l'équipement est protégé contre l'humidité, la saleté et les dommages, tout en restant facilement accessible pour les personnes exécutant le travail.

8.5 Protection contre les dangers provenant d'un défaut d'arc

Les installations électriques doivent être conçues et installées de façon à ce que le personnel soit protégé dans toute la mesure du possible contre les défauts avec arc pendant l'exploitation.

La liste suivante des mesures de protection contre les dangers provenant d'un défaut avec arc doit servir de guide pour la conception et la construction des installations électriques. Le niveau d'importance de ces mesures doit faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

a) La protection contre les erreurs d'exploitation est assurée, par exemple, par l'utilisation des moyens suivants:
   - interrupteurs-sectionneurs au lieu de sectionneurs,
   - interrupteurs de mise à la terre dimensionnés pour tenir le courant de court-circuit,
   - dispositifs de verrouillage,
   - serrures à clés non interchangeables.

b) Passages de service aussi courts, hauts et larges que possible (voir 7.5).

c) Capots pleins tels qu'une enceinte ou une barrière de protection, au lieu de capots perforés ou d'un grillage.

d) Matériel soumis à l'essai pour résister à un défaut d'arc interne au lieu d'un matériel de type ouvert (par exemple, CEI 62271-200, CEI 62271-203).

e) Produits de l'arc dirigés loin du personnel d'exploitation et évacués hors du bâtiment, si nécessaire.

f) Utilisation de dispositifs limiteurs de courant.

g) Très court temps de déclenchement, obtenu par des relais instantanés ou par des dispositifs sensibles à la pression, la lumière ou la chaleur.

h) Fonctionnement de l'installation à partir d'une distance de sécurité.

i) Prévention de toute ré-alimentation par l'utilisation de dispositifs non-réinitialisables détectant les défaillances internes du matériel ~~et intégrant un dispositif de~~, permettant une décompression ~~avec~~ et fournissant une indication externe.

8.6 Protection contre les coups de foudre directs

Il existe différentes méthodes d'analyse. La méthode à utiliser doit faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

L'utilisateur doit choisir le niveau de protection à réaliser, en fonction du niveau de fiabilité requis, et la méthode de protection à employer.

NOTE 1 Pour les méthodes de calcul, voir par exemple l'Annexe E ou le Guide 998 de l'IEEE [28].

Les tiges des paratonnerres et les câbles de garde doivent être mis à la terre.

Il n'est pas nécessaire d'équiper une structure en acier avec un conducteur de mise à la terre séparé, dans le cas où la structure fournit elle-même un cheminement approprié pour le courant de foudre.

Les câbles de garde doivent être reliés à la structure en acier ou au conducteur de mise à la terre pour assurer que le courant de foudre est dérivé vers la terre. Pour les bâtiments et les structures similaires, voir la série CEI 62305.

Il convient de faire référence à la CEI 62305-4 pour les normes associées.

NOTE 2 Pour des raisons économiques et techniques, les dommages résultant de coups de foudre ne peuvent être totalement évités.

8.7 Protection contre l'incendie

8.7.1 Généralités

Les règlements locaux, régionaux et nationaux appropriés concernant la protection contre l'incendie doivent être pris en considération lors de la conception de l'installation.

NOTE Les dangers d'incendie et risques d'incendie du matériel électrique se divisent en deux catégories: la victime de l'incendie et la cause de l'incendie. Il convient de prendre en considération les mesures de prévention applicables à chaque catégorie dans les exigences d'installation.

a) Mesures de prévention applicables à la victime de l'incendie:

   i) séparation physique d'avec le foyer (cause) de l'incendie;

   ii) prévention de la propagation des flammes:

      – agencement physique du poste,

      – rétention des liquides,

      – séparations ignifuges (par exemple, ~~matériaux résistant au feu REI 60/90~~ cloisons pare-feu avec une résistance au feu d'au moins 60 minutes),

      – système d'extinction;

b) Mesures de prévention applicables à la cause de l'incendie:

   i) protection électrique;

   ii) protection thermique;

   iii) protection contre la pression;

   iv) matériaux ~~résistant au feu~~ non combustibles.

On doit s'assurer qu'en cas d'incendie, les voies d'évacuation et de sauvetage ainsi que les issues de secours peuvent être utilisées (voir 7.1.6).

L'utilisateur ou le propriétaire de l'installation doit spécifier toutes les exigences applicables au matériel d'extinction d'incendie.

Des dispositifs automatiques de protection contre les incendies de matériel dus à une surchauffe importante, aux surcharges et aux défauts (internes et externes) doivent être prévus en fonction de la dimension et de l'importance de l'installation.

Les matériels dans lesquels des étincelles, des arcs, des explosions ou des températures élevées peuvent se produire, par exemple, des machines électriques, transformateurs, résistances, interrupteurs et fusibles, ne doivent pas être utilisés dans les zones d'exploitation présentant un danger d'incendie, à moins que la construction de ces matériels soit telle qu'ils ne puissent pas enflammer des matières inflammables.

Si cela ne peut être assuré, des mesures de prévention spéciales sont nécessaires, par exemple, l'usage de cloisons pare-feu, séparations résistantes au feu, chambres, enveloppes et rétentions.

Il convient de considérer la séparation des diverses sections de l'appareillage par des cloisons pare-feu. Cela peut être réalisé par des conduits traversant la cloison pare-feu et dont les câbles interconnectent les diverses sections de l'appareillage.

8.7.2 Transformateurs, réactances

Dans les paragraphes qui suivent, le terme «transformateur» recouvre à la fois les « transformateurs et les réactances ».

Pour l'identification des types de fluide de refroidissement, voir 6.2.2.

La CEI 61100 donne la classification des liquides isolants selon le point d'inflammation et le pouvoir calorifique inférieur (chaleur de combustion). La CEI 60076-11 classe les transformateurs secs en termes de leur comportement au feu.

Le danger d'incendie associé aux transformateurs des installations extérieures et intérieures dépend du classement du matériel, du volume et du type de milieux isolants, du type et de la proximité, ainsi que de l'exposition des structures et matériels voisins. Une ou plusieurs mesures de sauvegarde reconnues doivent être utilisées conformément à l'évaluation du risque.

NOTE Pour la définition du risque, voir le Guide 51 ISO/CEI.

Des fosses ou réservoirs de récupération communs à plusieurs transformateurs, le cas échéant, doivent être prévus de telle sorte qu'un incendie dans un transformateur ne puisse pas se propager à un autre.

Ce qui précède s'applique aux fosses individuelles raccordées aux réservoirs de récupération d'autres transformateurs; des couches de ~~gravier~~ pierres concassées, des grillages de protection contre l'incendie ou des tuyaux remplis de fluide peuvent, par exemple, être utilisés dans ce but. Les dispositions tendant à réduire le danger d'incendie du fluide répandu sont préférables.

8.7.2.1 Installations extérieures

La disposition d'une installation extérieure doit être telle que l'incendie d'un transformateur contenant un volume de liquide supérieur à 1 000 l n'expose pas les autres transformateurs ou objets ~~à un danger~~ au risque d'incendie, à l'exception de ceux directement associés au transformateur. Dans ce but, ~~l'existence~~ des distances de sécurité ~~appropriées~~, G_1, G_2, adéquates doivent être nécessaires. Le Tableau 3 donne des valeurs indicatives. Lorsque des transformateurs contenant un volume de liquide inférieur à 1 000 l sont installés à proximité de ~~cloisons~~ murs en matériau combustible~~s~~, des précautions spéciales contre l'incendie peuvent être nécessaires en fonction de la nature et de l'utilisation du bâtiment.

Si un matériel d'extinction automatique est installé, ~~la~~ les distances de sécurité G_1/G_2 peuvent être réduites.

La réduction des distances G_1/G_2 doit faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur.

S'il n'est pas possible d'assurer la distance de sécurité appropriée indiquée au Tableau 3, des cloisons de séparation résistantes au feu doivent être prévues avec les dimensions suivantes:

a) cloisons de séparation entre les transformateurs (voir Figure 6). Par exemple EI 60 ~~conformément au *Journal officiel des communautés européennes*, n° C 62/23~~:
   - hauteur: sommet du vase d'expansion (s'il existe), sinon le sommet de la cuve du transformateur;
   - longueur: largeur ou longueur de la fosse de récupération (dans le cas d'un transformateur sec, la largeur ou la longueur du transformateur, en fonction de ~~la direction~~ l'orientation du transformateur);

b) cloisons de séparation entre les transformateurs et les bâtiments. Par exemple EI 60; si une cloison de séparation coupe-feu supplémentaire n'est pas prévue, il convient que le classement du mur du bâtiment soit augmenté, REI 90 par exemple (voir Figure 7)~~,~~ ~~conformément au *Journal officiel des communautés européennes* C 62/23~~.

NOTE 1 REI représente le système porteur (mur), tandis que EI représente le système non porteur (mur), où R est la portance, E est l'étanchéité au feu, I est l'isolation thermique et 60/90 la durée de résistance au feu en minutes.

NOTE 2 Des définitions de la résistance au feu sont données dans la EN 13501-2[37].

Tableau 3 – Valeurs indicatives pour les distances de sécurité des transformateurs à l'extérieur

Type de transformateur	Volume de liquide	Distance de sécurité G_1 par rapport aux autres transformateurs ou à la surface d'un bâtiment non combustible	Distance de sécurité G_2 par rapport à la surface d'un bâtiment en matériau combustible
	l	m	m
Transformateurs à huile (O)	1 000 <....< 2 000	3	7,5
	2 000 ≤....< 20 000	5	10
	20 000 ≤....< 45 000	10	20
	≥ 45 000	15	30
Transformateurs isolés à liquides moins inflammables (K) sans protection renforcée	1 000 <....< 3 800	1,5	7,5
	≥ 3 800	4,5	15

Transformateurs isolés à liquides moins inflammables (K) avec protection renforcée	Distance de sécurité G_1 par rapport à la surface du bâtiment ou aux transformateurs voisins	
	Horizontale m	Verticale m
	0,9	1,5

Transformateurs secs (A)	Classe de comportement au feu	Distance de sécurité G_1 par rapport à la surface du bâtiment ou aux transformateurs voisins	
		Horizontale m	Verticale m
	F0	1,5	3,0
	F1	Néant	Néant

NOTE 1 ~~Une~~ Les moyens de protection renforcée signifient

– la résistance à la rupture des réservoirs,

– la décompression des réservoirs,

– la protection contre les défauts à faible intensité,

– la protection contre les défauts à intensité élevée.

Pour un exemple de protection renforcée, voir la norme globale 3990 Factory Mutual (mutuelle industrielle) [33], ou un document équivalent.

NOTE 2 Il convient de réserver un espace suffisant pour le nettoyage périodique des enroulements de transformateur enrobés de résine, afin d'éviter des risques éventuels de défaut électrique ou un danger d'incendie dus au dépôt de pollution atmosphérique.

NOTE 3 Les matériaux non combustibles peuvent être choisis conformément à la norme EN 13501-1[36].

8.7.2.2 Installation de transformateurs à l'intérieur dans des locaux électriques fermés

Les exigences minimales applicables à l'installation de transformateurs à l'intérieur sont données au Tableau 4.

Tableau 4 – Exigences minimales applicables à l'installation de transformateurs à l'intérieur

Type de transformateur	Classe	Mesures de sauvegarde
Transformateurs à huile (O)	Volume de liquide	
	≤ 1 000 l	EI 60 ou REI 60 respectivement
	> 1 000 l	EI 90 ou REI 90 **ou** EI 60 ou REI 60 respectivement, et protection par sprinkleurs automatiques
Transformateurs isolés à liquides moins inflammables (K)	Puissance nominale/tension maximale	
Sans protection renforcée	(aucune restriction)	EI 90 ou REI 60 respectivement **ou** protection par sprinkleurs automatiques
Avec protection renforcée	≤ 10 MVA et U_m ≤ 38 kV	EI 60 ou REI 60 respectivement, **ou** distances de séparation de 1,5 m horizontalement et 3,0 m verticalement
Transformateurs secs (A)	Classe de comportement au feu	
	F0	EI 60 ou REI 60 respectivement, **ou** distances de séparation de 0,9 m horizontalement et 1,5 m verticalement
	F1	Cloisons non combustibles

NOTE 1 REI représente le système porteur (mur), tandis que EI représente le système non porteur (mur) où R est la portance, E est l'étanchéité au feu, I est l'isolation thermique et 60/90 ~~le temps~~ la durée de résistance au feu en minutes.

NOTE 2 Des définitions de la résistance au feu sont données dans la norme EN 13501-2[37].

NOTE ~~2~~3 Une protection renforcée signifie

– la résistance à la rupture des réservoirs,

– la décompression des réservoirs,

– la protection contre les défauts à faible intensité,

– la protection contre les défauts à intensité élevée.

Pour un exemple de protection renforcée, voir la norme globale 3990 Factory Mutual [mutuelle industrielle) [33], ou un document équivalent.

NOTE ~~3~~4 Il convient de réserver un espace suffisant pour le nettoyage périodique des enroulements de transformateur enrobés de résine, afin d'éviter des risques éventuels de défaut électrique ou un danger d'incendie dus au dépôt de pollution atmosphérique.

Les portes doivent avoir une résistance au feu d'une durée d'au moins 60 min. Les portes qui s'ouvrent vers l'extérieur sont appropriées si elles sont constituées d'un matériau de faible inflammabilité. Les ouvertures de ventilation nécessaires au fonctionnement des transformateurs sont admises dans les portes ou les parois adjacentes. Lors de la conception des ouvertures, la possibilité pour les gaz chauds de s'échapper doit être prévue.

8.7.2.3 Installations à l'intérieur des bâtiments industriels

Pour tous les transformateurs implantés à l'intérieur de bâtiments industriels, des dispositifs de protection à action rapide assurant une coupure automatique immédiate en cas de défaut sont nécessaires.

Les transformateurs à fluide de refroidissement de type O requièrent les mêmes dispositions que celles indiquées en 8.7.2.2.

Pour tous les autres transformateurs immergés dans un liquide, aucune disposition spéciale n'est prescrite au titre de la protection contre l'incendie, sauf pour les dispositions concernant la rétention du liquide en cas de fuite et la fourniture de dispositifs portatifs de lutte contre l'incendie appropriés aux matériels électriques.

Les transformateurs de type sec (A) exigent le choix d'une classe correcte de comportement au feu suivant l'activité de l'industrie et les matériaux avoisinants. Des dispositifs d'extinction de l'incendie sont recommandés, en particulier pour la classe F0.

NOTE Pour tous les transformateurs implantés dans des bâtiments industriels, des précautions supplémentaires à prendre contre l'incendie peuvent être nécessaires, suivant la nature et l'utilisation du bâtiment.

8.7.2.4 Installations intérieures dans les bâtiments occupés en permanence

Dans les installations à haute tension situées dans des bâtiments publics ou résidentiels, des conditions spéciales doivent être respectées conformément aux normes ou aux règlements nationaux existants.

8.7.2.5 Incendie à proximité des transformateurs

Lorsqu'il existe un risque exceptionnel d'exposition du transformateur à un incendie extérieur, il doit être tenu compte des éléments suivants

– cloisons de séparation coupe-feu;
– enveloppes étanches au gaz pouvant résister à la pression interne générée;
– sortie contrôlée du liquide chaud;
– systèmes d'extinction d'incendie.

8.7.3 Câbles

Le risque de propagation du feu et ses conséquences doit être réduit dans toute la mesure du possible par le choix de câbles appropriés et leur mode d'installation.

Les câbles peuvent être regroupés selon les catégories suivantes:

– câbles sans tenue particulière vis-à-vis du feu;
– câbles (individuels) non propagateurs de la flamme (série CEI 60332);
– câbles (en faisceau) non propagateurs de la flamme (série CEI 60332);
– câbles à faible émission de fumées (CEI 61034-1);
– câbles à faible émission de gaz acides et corrosifs (CEI 60754-1 et CEI 60754-2);
– câbles résistant au feu (CEI 60331-21 ou CEI 60331-1).

La pose de câbles dans des tranchées et des bâtiments doit respecter les règlements concernant la sécurité en cas d'incendie du bâtiment. Par exemple, afin d'éviter la propagation du feu, les orifices par lesquels les câbles passent d'un local à l'autre doivent être obturés au moyen d'un matériau approprié.

Une séparation physique ou un cheminement différent entre les circuits de puissance et les circuits de commande des matériels à haute tension sont recommandés s'il est nécessaire de préserver l'intégrité de ces derniers aussi longtemps que possible après que les circuits de puissance ont été endommagés.

Si nécessaire, un système d'alarme et des systèmes d'extinction de l'incendie doivent être installés dans les galeries et les chemins de câbles dans le sous-sol des bâtiments de commande.

8.7.4 Autres matériels contenant un liquide inflammable

Pour tout matériel, tel que les appareillages contenant plus de 100 l de liquide inflammable dans chaque compartiment séparé, des précautions spéciales à prendre contre l'incendie, comme spécifié pour les transformateurs, peuvent être nécessaires, suivant la nature et l'utilisation de l'installation et suivant son emplacement.

8.8 Protection contre les fuites de liquide isolant et de gaz SF_6

8.8.1 Fuites de liquide isolant et protection de la nappe phréatique

8.8.1.1 Généralités

Des mesures doivent être prises pour contenir toute fuite éventuelle issue des matériels immergés dans un liquide afin d'éviter tout dommage à l'environnement. Les règlements nationaux et/ou locaux peuvent spécifier la quantité minimale de liquide contenue dans un matériel pour lequel une rétention est requise. A titre indicatif, en l'absence de règlements nationaux et/ou locaux, il convient de prévoir une rétention autour des matériels immergés dans un liquide contenant une quantité de liquide supérieure à 1 000 l (selon l'IEEE 980: 2 500 l).

NOTE Dans tous les cas, il convient de prendre en compte les règlements locaux et les autorisations obtenues, si nécessaire.

8.8.1.2 Système de rétention pour le matériel installé à l'intérieur

Dans les installations intérieures, les déversements de liquide isolant peuvent être retenus par la mise en place de sols imperméables avec seuils autour de la zone où le matériel est implanté, ou en récupérant le liquide déversé dans une zone de rétention désignée dans le bâtiment (voir Figure 11).

Le volume de liquide isolant dans le matériel ainsi que les éventuelles évacuations d'eau d'un système de protection contre l'incendie doivent être pris en considération pour décider de la hauteur du seuil ou du volume de la zone de rétention.

8.8.1.3 Système de rétention pour le matériel installé à l'extérieur

La quantité de liquide isolant dans le matériel, le volume d'eau issu des précipitations et des systèmes de protection contre l'incendie, la proximité des cours d'eau et les conditions du sol doivent être pris en considération lors du choix d'un système de rétention.

NOTE 1 Les rétentions (fosses) autour d'un matériel immergé dans un liquide et/ou les cuves de rétention (réservoirs de récupération) sont largement utilisées pour éviter le déversement dans l'environnement du liquide isolant du matériel.

Les rétentions et les réservoirs de récupération, lorsqu'ils sont fournis, peuvent être conçus et disposés comme suit:

– réservoirs;
– fosse avec réservoir de récupération intégré pour la totalité des liquides (Figure 8);
– fosse avec réservoir de récupération séparé. Lorsqu'il existe plusieurs fosses, les conduites de vidange peuvent être reliées à un réservoir de récupération commun. Il convient que ce dernier soit alors capable de contenir les liquides du transformateur le plus important (Figure 9);
– fosse avec réservoir de récupération intégré commun à plusieurs transformateurs, capable de contenir les liquides du transformateur le plus important (Figure 10).

Les murs et les tuyaux des fosses et des réservoirs de récupération associés doivent être imperméables au liquide.

La capacité des fosses et des réservoirs de récupération pour les liquides isolants et les fluides de refroidissement ne doit pas être réduite de façon inacceptable par de l'eau circulant à l'intérieur. Il doit être possible d'évacuer ou de pomper l'eau.

L'utilisation d'un dispositif simple pour indiquer le niveau du liquide est recommandée.

Il doit être tenu compte du risque de gel.

Les mesures supplémentaires suivantes doivent être prises pour la protection du réseau de distribution d'eau et de la nappe phréatique:

– le débordement de liquide isolant et de fluide de refroidissement venant de l'ensemble fosse/réservoir/sol doit être empêché (pour les exceptions, voir 8.8.1.1);
– il convient que l'eau évacuée passe à travers des dispositifs de séparation des fluides; dans ce but, la densité des différents fluides doit être prise en compte.

Pour les installations extérieures, il est recommandé que la longueur et la largeur de la fosse soient égales à la longueur et à la largeur des transformateurs, augmentées de chaque côté de 20 % de la distance entre le point le plus haut du transformateur (y compris le conservateur) et le niveau haut du système de rétention.

~~NOTE 2 Pour les installations extérieures, le rapport CIGRE 23-07 [30] recommande que la longueur et la largeur de la fosse soient égales à la longueur et à la largeur des transformateurs, augmentées de chaque côté de 20 % de la hauteur du transformateur (y compris le conservateur). L'IEEE 980 recommande par ailleurs que la rétention des déversements s'étende au minimum à 1 500 mm au-delà de toute partie du matériel remplie de liquide.~~

NOTE ~~3~~2 ~~Des exemples pour l'évacuation automatique de l'eau et la séparation des liquides sont donnés dans le rapport CIGRE 23-07 et l'~~ L'IEEE 980 recommande par ailleurs que la rétention des déversements s'étende au minimum à 1 500 mm au-delà de toute partie du matériel remplie de liquide.

Les lois et règlements nationaux et régionaux doivent être pris en compte.

8.8.2 Fuite de gaz SF_6

Les recommandations pour l'utilisation et la manipulation du gaz SF_6 sont données dans la CEI/TR 612771-303.

Afin de couvrir le risque peu probable d'une fuite anormale, une ventilation doit être prévue dans le local d'appareillage et dans les autres emplacements accessibles où une accumulation de gaz peut représenter un danger. En cas d'installation extérieure, aucune précaution particulière n'est nécessaire.

Dans les locaux contenant des installations SF_6 au-dessus du sol, une aération naturelle est suffisante~~,~~ si le volume de gaz du plus grand compartiment à la pression atmosphérique n'est pas supérieur à 10 % du volume du local accessible. Si cette exigence ne peut être satisfaite, une ventilation mécanique doit être installée.

Dans les locaux où se trouvent des installations SF_6 situées entièrement au-dessous du sol, une ventilation mécanique doit être prévue si le gaz, en quantité dangereuse pour la santé et la sécurité du personnel (voir la note ci-dessous), peut être recueilli, en fonction de la quantité de gaz et des dimensions du local.

Les locaux, conduits, fosses, puits, etc. situés sous les locaux contenant des installations SF_6 et qui communiquent avec ces derniers doivent pouvoir être ventilés.

Afin de garantir qu'il ne peut se produire aucune décomposition thermique de SF_6 présent dans l'atmosphère, les dispositions suivantes doivent être prises:

- aucune partie, en contact avec l'air, de chaque matériel installé dans le local d'appareillage ne doit dépasser une température de 200 °C;
- lors du remplissage du matériel au cours de sa mise en œuvre sur site (systèmes non scellés), il convient de prendre des mesures d'interdiction de fumer, d'allumer un feu en plein air et d'effectuer des soudures dans les zones de travail.

NOTE Pour la concentration maximale de gaz SF_6, il convient de prendre en compte les règlements nationaux.

8.8.3 Défaillance avec perte de gaz SF_6 et de ses produits de décomposition

Les recommandations pour l'utilisation et la manipulation du gaz SF6 sont données dans la CEI/TR 612771-303.

NOTE Des recommandations ont été publiées par la CIGRE 23-04 [29].

8.9 Identification et marquage

8.9.1 Généralités

Des moyens d'identification clairs et un marquage ne prêtant pas à confusion sont requis pour éviter des interventions incorrectes, une erreur humaine, des accidents, etc. pendant les opérations d'entretien et d'exploitation (voir également 7.1.7).

Les pancartes, panneaux et notices doivent être constitués d'un matériau durable et non corrosif, et imprimés avec des caractères indélébiles.

L'état de fonctionnement de l'appareillage doit être clairement indiqué, sauf si les contacts principaux peuvent être clairement vus par l'opérateur.

Les extrémités de câbles et les accessoires doivent être identifiés. Un marquage approprié doit être fourni, rendant possible l'identification sur une liste ou un schéma de câblage.

8.9.2 Plaques d'identification et plaques de mise en garde

Dans les locaux électriques fermés et dans les bâtiments industriels, tous les locaux contenant du matériel électrique doivent comporter, à l'extérieur et sur chaque porte d'accès, les informations nécessaires identifiant le local et indiquant les dangers possibles.

Les couleurs et les contrastes de couleurs doivent respecter les normes CEI ou les règlements nationaux en vigueur.

8.9.3 Avertissement concernant les dangers dus à l'électricité

Toutes les portes d'accès aux locaux électriques fermés et tous les côtés des clôtures et mâts, pylônes et tours extérieurs équipés d'un transformateur ou dispositif de commutation doivent être munis d'un panneau d'avertissement.

Les panneaux doivent respecter les normes CEI ou les règlements nationaux en vigueur.

8.9.4 Installations avec des condensateurs incorporés

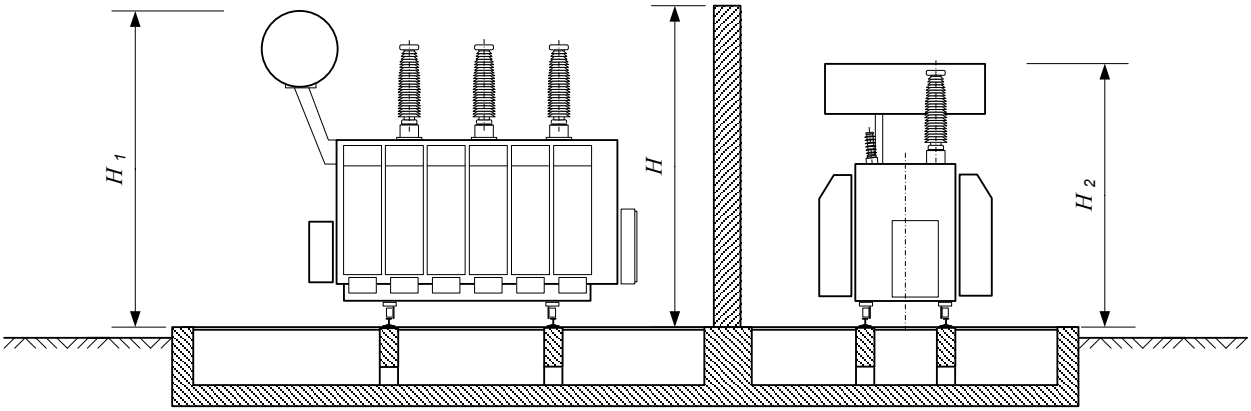
Les condensateurs doivent être munis d'une étiquette d'avertissement indiquant le temps de décharge.

8.9.5 Panneaux de sécurité pour sorties de secours

Les sorties de secours doivent être indiquées par un fléchage de sécurité approprié. Les panneaux doivent respecter les normes CEI ou les règlements nationaux en vigueur.

8.9.6 Marquage d'identification des câbles

Il convient d'identifier les points d'entrée des câbles dans les bâtiments. Les marquages d'identification ne doivent pas être apposés sur des couvercles amovibles ou sur des portes pouvant être interchangées.



$H \geq H_1$ (avec $H_1 > H_2$)

$L \geq B_2$ (avec $B_2 > B_1$)

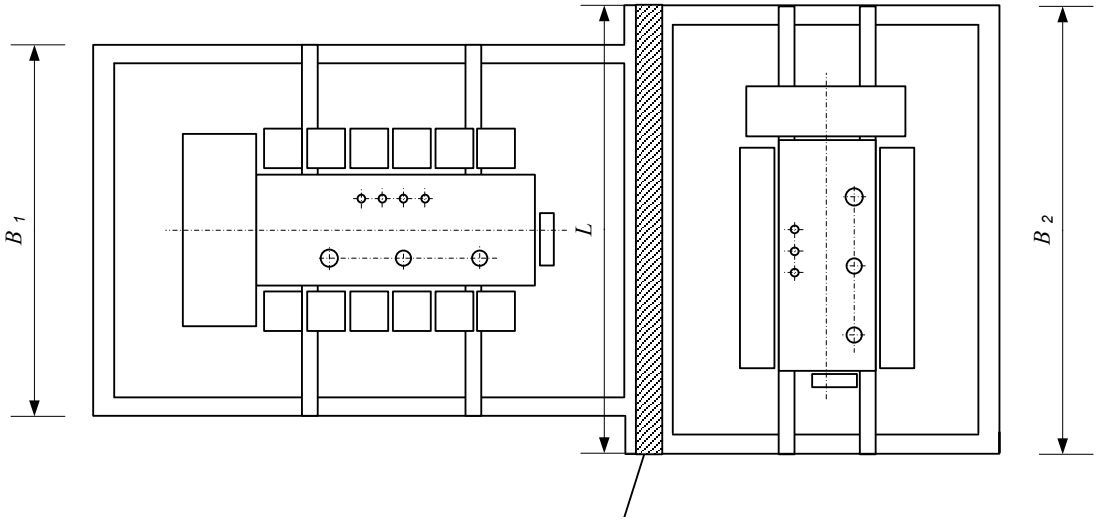
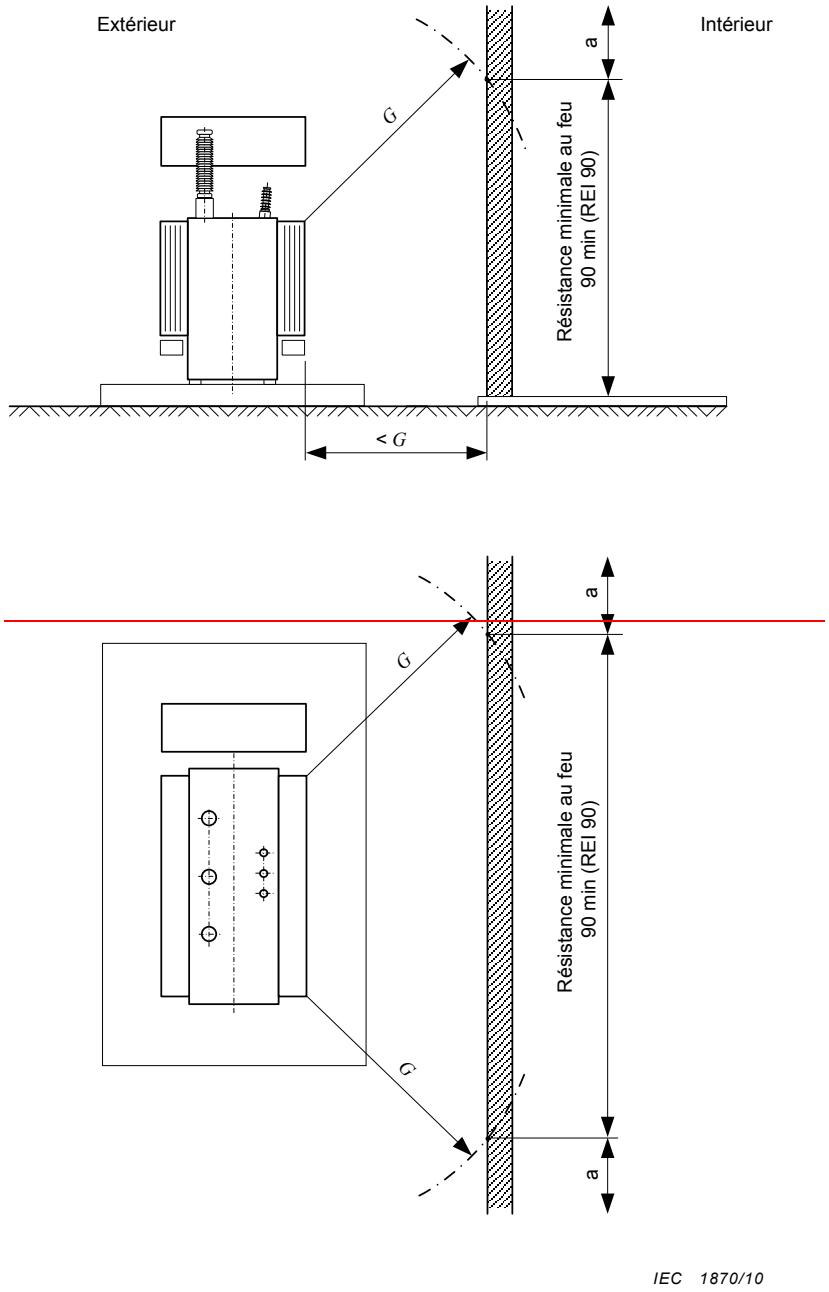


Figure 6 – Cloisons de séparation entre les transformateurs


Extérieur
Intérieur
a
G
Résistance minimale au feu
90 min (REI 90)
< G
a
G
Résistance minimale au feu
90 min (REI 90)
G
a

IEC 1870/10

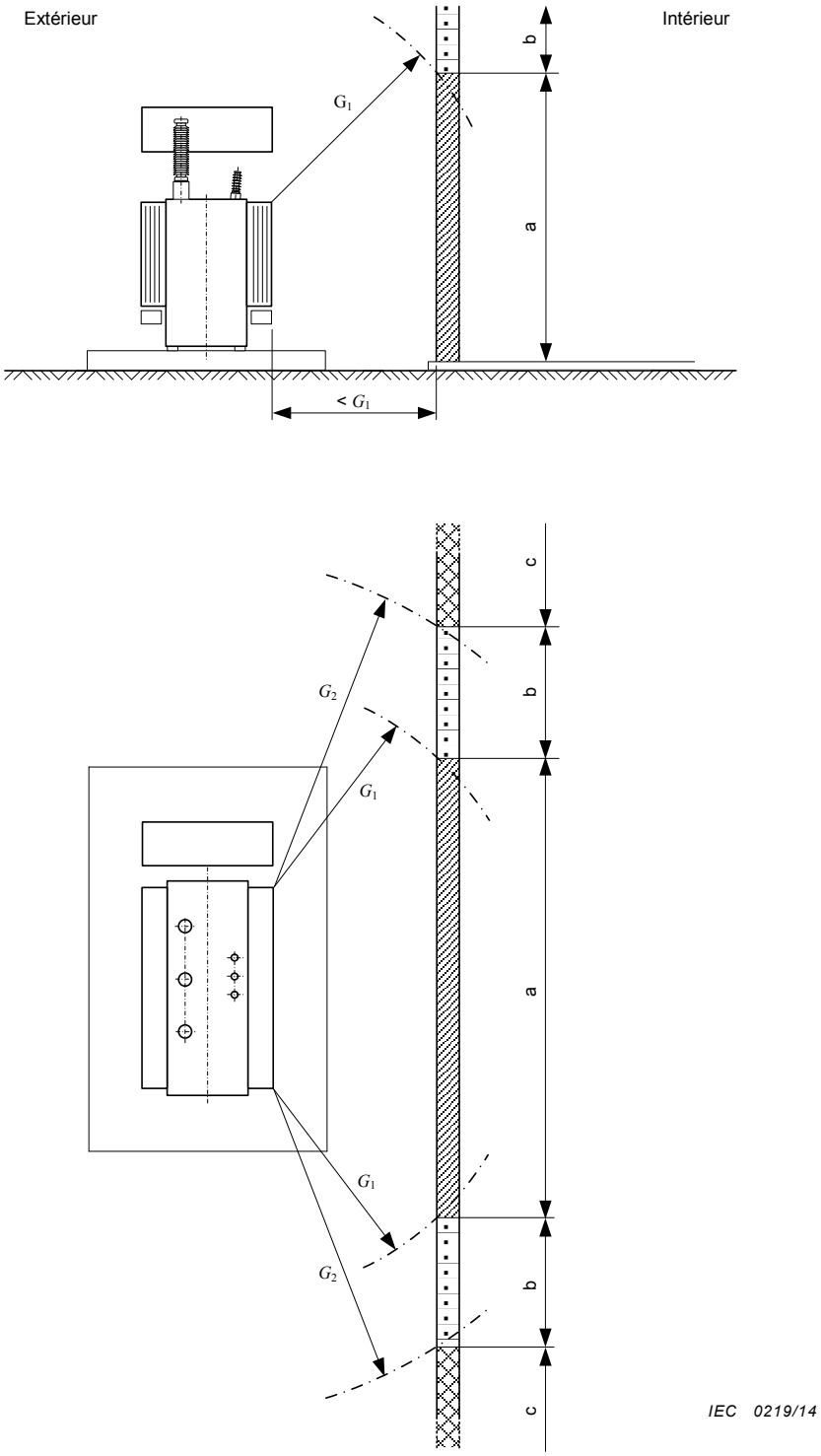


Figure 7a) Protection contre l'incendie entre le transformateur et la surface du bâtiment en matériau non combustible

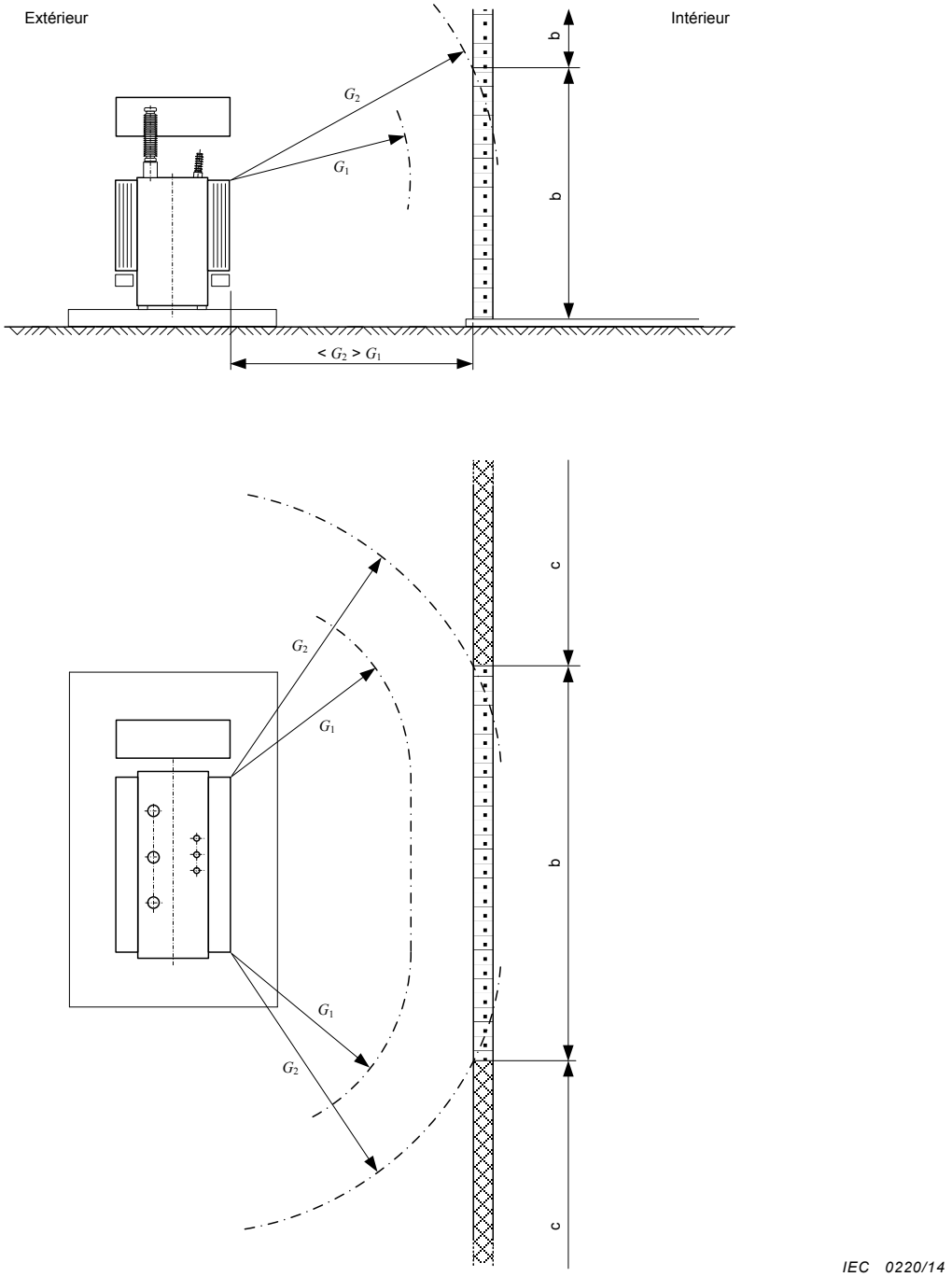


Figure 7b) Protection contre l'incendie entre le transformateur et la surface du bâtiment en matériau combustible

Légende

Pour les distances de sécurité G_1 et G_2, voir Tableau 3

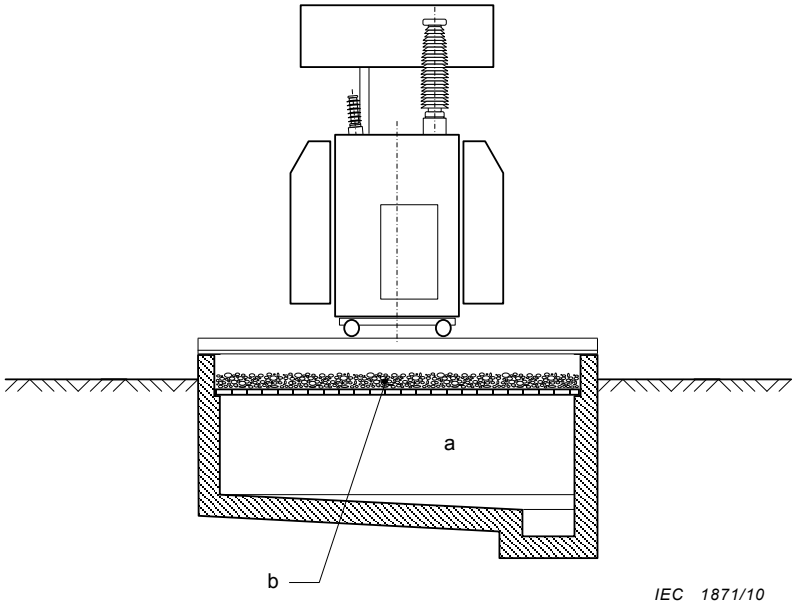
Secteur a ~~La cloison~~ Le mur dans cette zone doit être conçu~~e de manière à éviter la propagation de l'incendie~~ avec une résistance au feu minimale de 90 min (REI 90)

Secteur b Le mur dans cette zone doit être conçu avec des matériaux non combustibles

Secteur c Aucune exigence de protection contre l'incendie

NOTE En raison du risque de propagation verticale du feu, le secteur c s'applique uniquement dans le sens horizontal.

Figure 7 – Protection contre l'incendie entre le transformateur et le bâtiment



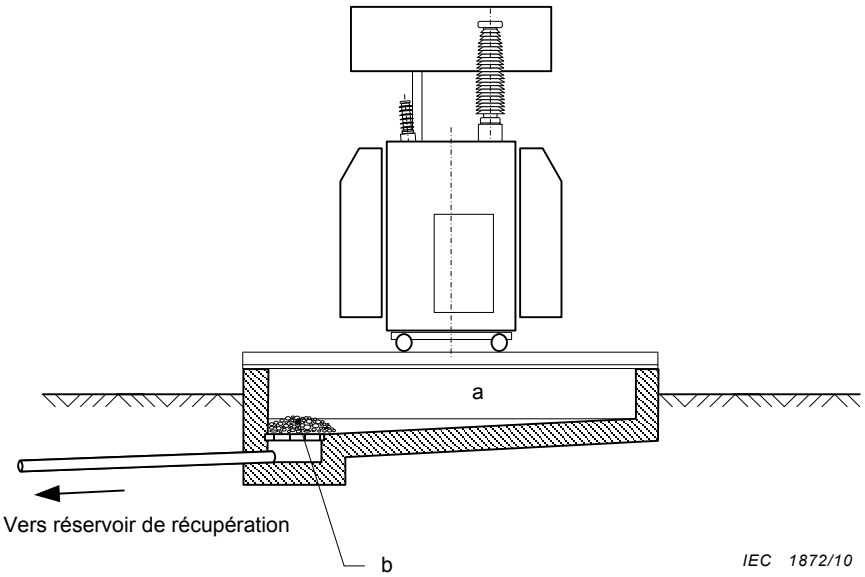
Légende

a Rétention: toute la quantité de fluide du transformateur plus l'eau de pluie

b ~~Couche de gravier pour la~~ Pour des informations concernant les grillages de protection contre l'incendie ou les sorties pare-feu, voir 8.7.2

NOTE En complément, il convient de prendre en compte l'eau provenant de l'installation d'extinction de l'incendie (si elle existe).

Figure 8 – Fosse avec réservoir de récupération intégré

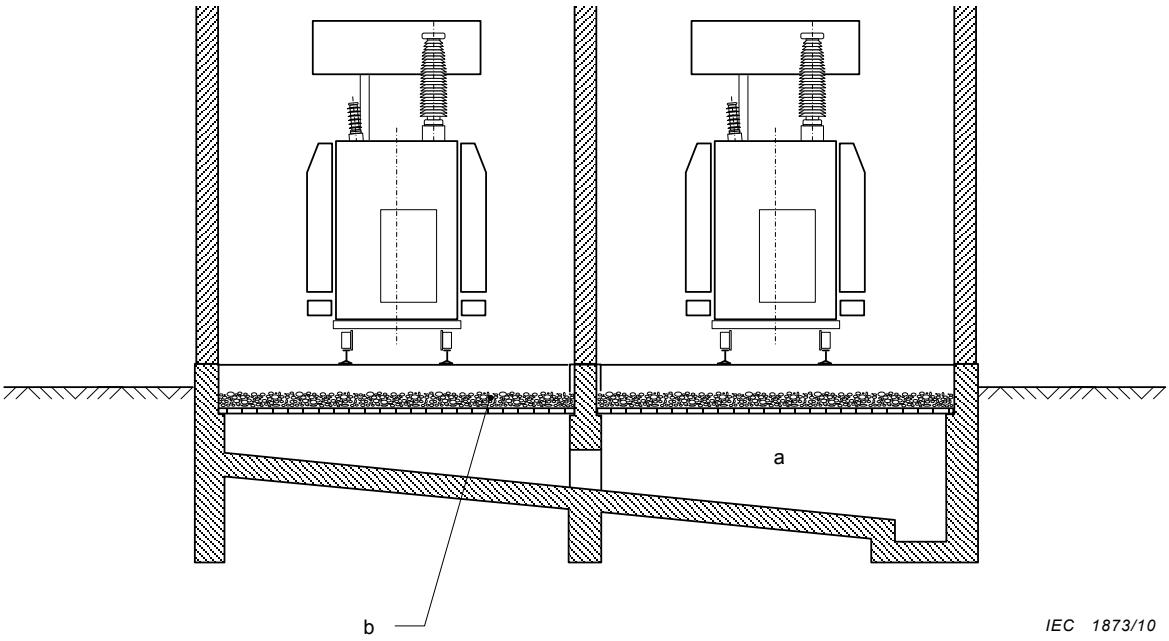


Légende

a Rétention: au minimum 20 % du fluide du transformateur

b ~~Couche de gravier pour la~~ Pour des informations concernant les grillages de protection contre l'incendie ou les sorties pare-feu, voir 8.7.2

Figure 9 – Fosse avec réservoir de récupération séparé



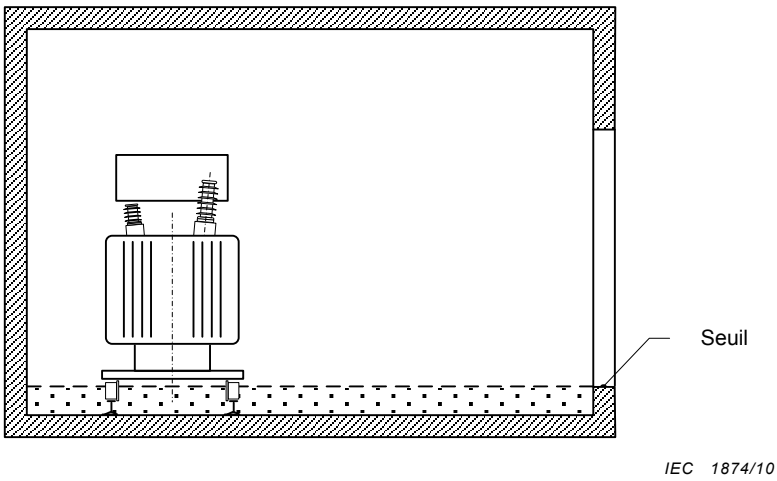
Légende

a Rétention à l'extérieur: toute la quantité de fluide du transformateur le plus important plus l'eau de pluie
Rétention à l'intérieur: toute la quantité de fluide du transformateur le plus important

b ~~Couche de gravier pour la~~ Pour des informations concernant les grillages de protection contre l'incendie ou les sorties pare-feu, voir 8.7.2

NOTE En complément, il convient de prendre en compte l'eau provenant de l'installation d'extinction incendie (si elle existe).

Figure 10 – Fosse avec réservoir de récupération commun intégré



NOTE La zone en pointillés représente le volume de la quantité totale de fluide isolant du transformateur répandue sur le sol.

Figure 11 – Exemple de petits transformateurs sans couche de gravier ni réservoir de récupération

9 Systèmes de protection, de commande et auxiliaires

9.1 Systèmes de surveillance et de commande

Des dispositifs de surveillance, de protection, de régulation et de commande doivent être prévus, si nécessaire, pour assurer le bon fonctionnement en toute sécurité du matériel.

Des dispositifs automatiques, conçus de manière à assurer sélectivité et rapidité de fonctionnement, doivent assurer une protection contre les effets des surcharges inacceptables et des défauts internes et externes, adaptée à la taille et à l'importance de l'installation.

On doit prendre en considération la protection contre les effets suivants:

– surintensité, court-circuit et défaut à la terre;
– surcharge et effet thermique;
– surtension;
– baisse de tension;
– baisse de fréquence.

Les études de coordination des protections doivent être menées d'un commun accord entre l'utilisateur et le fournisseur afin de déterminer les réglages des dispositifs de protection. Des protections de secours contre les courts-circuits, et les défauts à la terre doivent être mises en place lorsque l'élimination des défauts à la terre est exigée.

Les baisses de fréquence sont souvent la conséquence d'un problème du réseau de puissance. Pour les installations alimentées par un réseau de puissance, des relais de délestage par baisse de fréquence peuvent être exigés conformément aux réglementations locales ou aux exigences du réseau de puissance. Pour les installations comprenant leur propre alimentation de puissance indépendante, il convient de considérer l'installation de délesteur de charge afin d'éviter la perte totale de l'alimentation lors des perturbations.

Des études doivent être effectuées pour déterminer les surtensions possibles en fonctionnement normal. Des protections doivent être installées lorsque des surtensions peuvent dépasser les limites tolérables des matériels installés.

Les effets des baisses de tension sur le fonctionnement du matériel électrique doivent être pris en considération. Des dispositifs détectant les baisses de tension doivent être prévus si nécessaire afin d'initier des transferts automatiques vers d'autres sources d'alimentation, ou de déconnecter les matériels afin d'éviter un fonctionnement anormal ou l'occurrence de tout dommage.

Le matériel doit être conforme à la classe de sévérité (voir la série CEI 60255) correspondant à la partie de l'installation dans laquelle il est implanté.

Des moyens doivent être prévus pour isoler le circuit de commande de chacun des appareillages de commutation primaires ou de chacune des baies d'appareillage pour permettre la maintenance des matériels haute tension en toute sécurité.

Des dispositions doivent être prises pour permettre la réparation, la maintenance et/ou l'essai des dispositifs de protection et de commande sans danger pour le personnel ou le matériel.

Les circuits de commande et les circuits de signalisation doivent de préférence être séparés fonctionnellement. Les signaux de déclenchement doivent s'afficher sur le panneau de protection si celui-ci existe.

Les équipements de signalisation d'alarmes et de défauts doivent clairement signaler les dangers et conditions de défaut; plusieurs signaux peuvent être combinés en un signal commun pour transmission à un point de contrôle-commande distant.

Les équipements et le système de commande, y compris les câbles et cordons, doivent être conçus et installés de manière à réduire au minimum la possibilité de dommage aux matériels connectés dû aux perturbations électromagnétiques. Les règles de base sont données en 9.6.

Les équipements et le système de commande, y compris les câbles et cordons, doivent être conçus et installés de manière à réduire au minimum les risques de défaut de fonctionnement, manœuvre intempestive ou information incorrecte. En satisfaisant à cette exigence, les influences telles que les chutes de tension, les pannes d'alimentation, les défauts d'isolement et les effets des perturbations électromagnétiques doivent être prises en compte.

Les éléments de commande d'un appareillage doivent être conçus et installés de manière à éviter tout actionnement intempestif.

Lorsqu'une télécommande est disponible, la sélection entre commande locale et télécommande doit s'effectuer au poste d'exploitation local (c'est-à-dire à l'endroit ou à proximité immédiate des commutateurs).

Le circuit de commande des dispositifs de commutation fonctionnant à distance ou automatiquement doit comporter des moyens appropriés, à proximité du dispositif, pour éviter tout fonctionnement accidentel lors d'opérations planifiées.

Lorsque cela est exigé, le système de surveillance et de commande doit intégrer le délesteur de charge, l'arrêt d'urgence, le transfert automatique et la reconfiguration du réseau, le redémarrage et la réaccélération des moteurs, etc. afin de maintenir les conditions de fonctionnement sûr lors des perturbations sur le réseau électrique.

Pour des raisons de sécurité, il est recommandé que les interfaces câblées des matériels de commande des processus industriels soient conçues de manière que la maintenance des circuits de commande du processus puisse être effectuée sans accéder aux matériels haute tension, par exemple, en interposant des relais dans une armoire séparée.

9.2 Circuits d'alimentation en courant continu et courant alternatif

9.2.1 Généralités

Les alimentations auxiliaires doivent être conçues pour les tolérances permises de variation de tension et de puissance maximale appropriée exigées par les matériels pour les systèmes de commandes et auxiliaires.

Les systèmes basse tension à courant alternatif et à courant continu doivent être conçus conformément à la série CEI 60364.

Des tableaux de contrôle auxiliaires doivent être prévus pour séparer et protéger les divers circuits auxiliaires.

Il convient qu'une perte ou une panne de tension dans le circuit d'alimentation génère un signal à destination d'un poste de commande.

Les alimentations de puissance peuvent être classées en groupes essentiel et non-essentiel. Il convient que les alimentations essentielles soient disponibles en permanence, sans interruption, tandis que les alimentations non essentielles peuvent faire l'objet de coupures.

9.2.2 Alimentation à courant alternatif

Pour les alimentations appartenant au groupe essentiel, telles que les alimentations d'un système de commande informatisé, ou l'alimentation de tout matériel dont l'arrêt suite à une coupure momentanée du courant peut se révéler dangereux, il est recommandé de prévoir une alimentation sans coupure appropriée.

Certains matériels (par exemple, les réchauffeurs des disjoncteurs SF_6) peuvent exiger de prévoir un commutateur d'alimentation.

9.2.3 Alimentation à courant continu

Les alimentations à courant continu doivent être capables d'alimenter toutes les charges en courant continu permanentes et les charges associées aux interventions essentielles. Ce résultat peut être atteint en choisissant un nombre approprié d'alimentations indépendantes de capacité suffisante.

Il est recommandé que les alimentations à courant continu telles que les batteries et les chargeurs soient dotées d'instruments de contrôle de la tension et du courant.

Les batteries à courant continu doivent être dimensionnées pour fournir l'alimentation permettant le fonctionnement d'une installation électrique lors de la perte totale de l'alimentation à courant alternatif des auxiliaires. La durée la plus probable de cette perte d'alimentation des auxiliaires doit être évaluée afin de permettre un dimensionnement et un choix adéquat des batteries à courant continu.

Le dimensionnement des batteries doit être basé sur le scénario le plus défavorable susceptible de provoquer une perte totale de l'alimentation à courant alternatif des auxiliaires (c'est-à-dire, interruption totale, défaut sur le jeu de barres principal de l'installation, etc.). La capacité minimale des batteries à courant continu doit être suffisante pour déclencher les disjoncteurs et sectionneurs au début de la période de décharge, pour alimenter la charge en courant continu et pour réenclencher les éléments de l'installation restaurant l'alimentation alternative.

Les groupes de batteries ayant des parties actives accessibles doivent être conservés dans un local ou une armoire uniquement accessible au personnel autorisé.

Les locaux ou armoires de batteries doivent être secs et correctement aérés pour limiter l'accumulation d'hydrogène. Les niveaux autorisés d'hydrogène et le nombre de renouvellements d'air recommandé doivent être conformes aux réglementations nationales.

Des moyens d'évacuation facile des locaux de batteries doivent être prévus. Des bassins oculaires, ou des équipements de protection individuelle doivent être prévus, de préférence à l'extérieur du local de batteries et à proximité de la porte dudit local.

Les groupes de batteries doivent de préférence être isolés des locaux de commande pour éviter la diffusion de fumées et tout contact accidentel.

Lorsque le risque d'explosion ne peut pas être évité, des matériels protégés contre les explosions doivent être utilisés (voir la CEI 60079-0).

Le risque d'explosion dû à la combustion de mélanges gazeux en présence d'une flamme nue ou de pièces incandescentes doit être indiqué au moyen de panneaux résistant à la corrosion, lisibles et de dimensions appropriées.

Quelle que soit la ventilation assurée, les locaux contenant des batteries au plomb de type ouvert doivent être considérés comme des installations à environnement corrosif. Les murs, plafonds et planchers doivent être conformes aux exigences de protection contre la corrosion

et les produits gazeux. Des moyens doivent être prévus pour éviter l'entrée de substances corrosives dans les systèmes d'évacuation éventuels.

9.3 Systèmes à air comprimé

Les systèmes à air comprimé doivent être conçus de manière à être conformes à la législation en vigueur concernant les enceintes sous pression et les systèmes sous pression.

Des instruments et des alarmes doivent être prévus pour assurer le fonctionnement sûr et fiable du système à air comprimé.

Le système à air comprimé doit être capable de fournir de l'air à une humidité relative adaptée au type et à la pression de service du matériel à alimenter, dans toutes les conditions environnementales. Un équipement de séchage doit être prévu si nécessaire.

Les systèmes à air comprimé doivent être conçus de telle manière que l'eau puisse être évacuée de tous les récepteurs ou autres points où elle est susceptible de s'accumuler en cours de fonctionnement.

Le système à air comprimé doit être conçu pour fonctionner à sa capacité maximale et minimale dans toute la plage de conditions environnementales prévisibles pour l'appareillage et/ou le système associés. Un refroidissement adéquat des compresseurs doit être assuré ainsi qu'une protection appropriée permettant le fonctionnement intermittent dans des conditions de gel.

Les enceintes sous pression et les tuyauteries doivent être protégées contre la corrosion interne et externe.

La fonction des divers composants du système à air comprimé doit être clairement indiquée sur le matériel. Les différentes pressions doivent être indiquées sur les tuyauteries, enceintes et schémas par une méthode acceptable pour l'acquéreur.

Le système à air comprimé doit être doté de points de sectionnement et d'évacuation en nombre suffisant pour permettre la sectionalisation pour la maintenance conformément aux règles d'exploitation et de sécurité de l'utilisateur.

Les tuyauteries maintenues sous pression en permanence doivent être protégées contre les dommages dus aux arcs électriques directs.

Tous les organes de commande du système à air comprimé qui doivent être utilisés en exploitation doivent être disposés de manière à être accessibles en toute sécurité.

9.4 Installations de manipulation du gaz SF_6

Lorsque du gaz doit être manipulé et récupéré, une installation mobile doit être prévue pour transférer le gaz de et vers le matériel rempli de gaz afin de permettre la maintenance du matériel primaire. Cette installation mobile doit être capable d'évacuer et de stocker la plus grande quantité de gaz spécifiée et d'évacuer le plus grand volume spécifié au niveau de vide, ainsi que de la remplir une nouvelle fois à la pression de remplissage la plus élevée spécifiée par le constructeur. La conception et la capacité de l'installation mobile doivent être déterminées par accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

L'installation doit également être capable d'extraire de l'air à la pression atmosphérique du plus grand volume spécifié au niveau de vide indiqué par le constructeur. L'installation doit être capable de renvoyer le gaz vers le matériel et de recycler le gaz usagé à travers des filtres.

NOTE Les recommandations pour le traitement d'installations contenant du gaz SF_6 sont données dans la CEI 60480 et la CEI 62271-303.

9.5 Centrales d'hydrogène

Le générateur refroidi à l'hydrogène, ou le condenseur synchrone et son système de refroidissement par hydrogène doivent être installés de la manière suivante.

– La structure du générateur ou du condenseur synchrone et son système de refroidissement par hydrogène doit être étanche et capable d'éviter tout mélange air-hydrogène.
– Les générateur, condenseur synchrone, canalisations d'hydrogène, vannes et autres équipements du système hydrogène doivent être capables de supporter une explosion d'hydrogène à la pression atmosphérique.
– La centrale doit être pourvue d'un dispositif permettant de purger en sécurité l'hydrogène à l'air libre en cas de fuite de l'étanchéité du générateur.
– Un dispositif capable de remplir d'hydrogène le générateur ou le condenseur synchrone en toute sécurité doit être installé, ainsi qu'un dispositif capable d'expulser ce même hydrogène.
– Un instrument capable d'avertir en cas de fonctionnement anormal du matériel doit être installé.

9.6 Règles de base applicables à la compatibilité électromagnétique des systèmes de commande

9.6.1 Généralités

Le présent paragraphe traite de la protection des circuits de commande contre les perturbations électromagnétiques.

9.6.2 Sources de bruit électrique dans les installations à haute tension

Les perturbations peuvent être transmises aux installations à haute tension par conduction, couplage capacitif, induction ou rayonnement.

a) Les perturbations haute fréquence sont produites par
   – la commutation des circuits primaires,
   – les coups de foudre sur les lignes aériennes ou sur les composants reliés à la terre des installations à haute tension,
   – le fonctionnement des parafoudres avec intervalle d'air série,
   – la commutation des circuits secondaires,
   – les émetteurs radio à haute fréquence,
   – les décharges électrostatiques.
b) Les perturbations à basse fréquence sont produites par
   – les courts-circuits,
   – les défauts à la terre,
   – les champs électromagnétiques générés par le matériel (jeux de barres omnibus, câbles de puissance, réactances, transformateurs, etc.).

La protection contre les perturbations est basée sur deux principes généraux:

– la réduction de la pénétration des champs électromagnétiques dans le matériel,
– la réalisation de l' équipotentialité entre chaque équipement et l'installation de mise à la terre.

9.6.3 Mesures à prendre pour réduire les effets des perturbations à haute fréquence

Les recommandations énumérées ci-dessous sont les plus importantes pour réduire les effets des perturbations électromagnétiques à haute fréquence:

a) construction appropriée des transformateurs de mesure (transformateurs de tension, transformateurs de courant), blindage efficace entre enroulements primaire et secondaire, essais de comportement des émissions haute fréquence;

b) protection contre les coups de foudre;

c) amélioration de l'installation de mise à la terre et des connexions de terre (voir 10.3.3);

d) blindage des câbles des circuits secondaires:
   – il convient que les blindages soient continus;
   – il convient que les blindages aient une faible résistance (quelques ohms par kilomètre);
   – il convient que les blindages aient une faible impédance de transfert dans la plage de fréquence perturbatrice;
   – il convient que la mise à la terre des blindages soit aussi courte que possible;
   – il convient que les blindages soient reliés à la terre aux deux extrémités et en des points intermédiaires dans toute la mesure du possible;
   – il convient que les blindages soient reliés à la terre à leur entrée dans les armoires de commande de telle manière que les courants circulant dans les blindages n'affectent pas les circuits non blindés. Il convient que les connexions soient de préférence circulaires, par l'utilisation de presse-étoupe appropriés ou d'un mode opératoire de soudage;

e) regroupement de circuits: afin de réduire les surtensions en mode différentiel, il convient que les fils entrants et sortants associés à une même fonction soient regroupés dans le même câble. Il convient, dans toute la mesure du possible, de séparer les câbles de commande des autres câbles.

9.6.4 Mesures à prendre pour réduire les effets des perturbations à basse fréquence

Les recommandations énumérées ci-dessous sont les plus importantes pour réduire les effets des perturbations électromagnétiques à basse fréquence.

a) Mesures concernant la pose des câbles:
   – séparation entre les câbles de commande et les câbles de puissance par l'utilisation d'un espacement ou de cheminements différents;
   – il convient d’utiliser de préférence des câbles de puissance à disposition en trèfle plutôt que des câbles à disposition en nappe;
   – il convient, dans toute la mesure du possible, que le cheminement des câbles ne soit pas parallèle aux jeux de barres omnibus ou aux câbles de puissance;
   – il convient que les câbles de commande soient posés à l'écart des inductances et des transformateurs monophasés.

b) Mesures concernant la disposition des circuits:
   – il convient d’éviter les boucles;
   – pour les circuits d'alimentation en courant continu auxiliaires, une configuration radiale est préférable à une configuration en anneau;
   – il convient d’éviter toute protection de deux circuits à courant continu différents par le même disjoncteur miniature;
   – il convient d’éviter toute connexion en parallèle de deux bobines implantées dans des armoires séparées;
   – il convient que tous les fils du même circuit soient situés dans le même câble. Lorsque différents câbles doivent être utilisés, il convient qu’ils suivent le même cheminement.

c) Les câbles à paires torsadées sont recommandés pour les signaux à bas niveau.

9.6.5 Mesures liées au choix du matériel

L'installation doit être divisée en différentes zones, chacune correspondant à une classe d'environnement spécifique (voir 4.4).

Dans chaque zone, les matériels doivent être sélectionnés conformément à la classe d'environnement associée.

Si nécessaire, les mesures suivantes doivent être prises dans les circuits internes:

b) isolation métallique des circuits de signaux E/S;

b) installation de filtres sur les circuits d'alimentation auxiliaires;

c) installation de dispositifs limiteurs de tension tels que

- circuits à condensateurs ou RC;
- dispositifs de protection contre les surtensions à basse tension;
- diodes Zener ou varistances;
- diodes Transzorb.

Ces dispositifs doivent être installés à l'intérieur des matériels de protection et de commande.

Mesures supplémentaires concernant les appareillages isolés au gaz.

d) Connexion de grilles de renfort en béton à l'installation de mise à la terre en différents points, en particulier dans le plancher (voir l'Article 10).

e) ~~Blindage efficace~~ Mise à la terre adéquate pour la fréquence industrielle et les effets transitoires au niveau des ~~GIS~~ appareillages à isolation gazeuse/passages d'air et des tubes à isolation gazeuse. Ceci est obtenu par des connexions multiples entre l'enceinte et le mur du bâtiment (sur la grille de renfort ou le revêtement métallique) et connexions multiples entre le mur et l'installation de mise à la terre.

f) Conception adéquate et essais des matériels secondaires concernant leur immunité aux transitoires électriques.

9.6.6 Autres mesures possibles pour réduire les effets des perturbations

Les recommandations énumérées ci-dessous complètent, le cas échéant, les recommandations qui précèdent:

– l'installation des câbles de commande dans des conduits de câbles métalliques est recommandée. Il convient que la continuité et la mise à la terre des conduits soient assurées sur toute leur longueur;

– installer, chaque fois que possible, les câbles le long de surfaces métalliques;

– utiliser des câbles à fibre optique avec des matériels appropriés.

10 Installations de mise à la terre

10.1 Généralités

Le présent article énonce les critères à prendre en compte pour la conception, l'installation, les essais et la maintenance d'une installation de mise à la terre pour qu'elle fonctionne dans toutes les conditions et assure la sécurité des personnes à tout endroit où l'accès est autorisé. Il énonce également les critères permettant d'assurer l'intégrité des matériels connectés et situés à proximité de l'installation de mise à la terre.

10.2 Exigences fondamentales

10.2.1 Critères de sécurité

Le risque pour l'homme est qu'un courant suffisant pour entraîner la fibrillation ventriculaire traverse la région du cœur. La limite du courant pour les réseaux à fréquence industrielle est issue de la courbe appropriée de la CEI/TS 60479-1:2005. Cette limite de courant traversant le corps humain est transcrite en limites de tension afin de pouvoir la comparer avec les tensions de contact et de pas calculées en tenant compte des facteurs suivants:

– proportion de courant traversant la région du cœur;

– impédance du corps humain le long du parcours du courant;

– résistance entre les points de contact du corps et, par exemple, la structure métallique par rapport à la main, y compris les gants, les pieds, à une terre distante comprenant les chaussures ou le gravier;

– durée de défaut.

Il doit être également tenu compte du fait que la survenance des défauts, la grandeur du courant de défaut, la durée du défaut et la présence d'hommes sont par nature probabilistes.

Les paramètres de conception des installations de mise à la terre (exigences fondamentales applicables, par exemple courant de défaut, durée de défaut) doivent faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur.

Pour la conception de l'installation, la courbe indiquée à la Figure 12 est calculée selon la méthode définie à l'Annexe B.

NOTE La courbe est basée sur des données extraites de la CEI/TS 60479-1:2005 :

– impédance du corps humain, Tableau 1 de la CEI/TS 60479-1:2005 (pour 50 % de la population),

– courant admissible traversant le corps humain correspondant à la courbe c2 illustrée à la Figure 20 et au Tableau 11 de la CEI/TS 60479-1:2005 (probabilité de fibrillation ventriculaire inférieure à 5 %),

– facteur de courant de cœur selon le Tableau 12 de la CEI/TS 60479-1:2005.

Il convient d'utiliser la courbe de la Figure 12 donnant la tension de contact admissible. L'Annexe C montre la courbe de l'IEEE 80 pouvant être également utilisée en lieu et place de la courbe de la Figure 12.

En général, la satisfaction aux exigences relatives à la tension de contact signifie également la satisfaction aux exigences relatives à la tension de pas, dans la mesure où les limites tolérables pour la tension de pas sont plus élevées que celles de la tension de contact du fait du parcours différent du courant à travers le corps.

Pour les installations où le matériel haute tension n'est pas situé dans des locaux électriques fermés, par exemple, dans un environnement industriel, il convient d'utiliser une installation de mise à la terre globale afin d'éviter les tensions de contact issues des défauts haute tension, supérieures à la limite de basse tension donnée dans la CEI 60364-4-41 (par exemple, 50 V) [17].

10.2.2 Exigences fonctionnelles

L'installation de mise à la terre, ses composants et les conducteurs de liaison doivent être capables de répartir et d'écouler le courant de défaut sans dépasser les limites thermiques et mécaniques théoriques basées sur le temps de fonctionnement des protections de secours.

L'installation de mise à la terre doit conserver son intégrité pendant la durée de vie prévue de l'installation en prenant en compte la corrosion et les contraintes mécaniques.

Les performances de l'installation de mise à la terre doivent éviter toute détérioration du matériel due à une augmentation excessive du potentiel, aux différences de potentiel au sein de l'installation de mise à la terre et à des courants excessifs s'écoulant dans les trajets auxiliaires non prévus pour transporter une partie du courant de défaut.

L'installation de mise à la terre, combinée à des mesures appropriées, doit maintenir les potentiels de pas, de contact et de transfert dans les limites de tension basées sur le temps de fonctionnement normal des relais et coupe-circuits de protection.

Les performances de l'installation de mise à la terre doivent contribuer à assurer la compatibilité électromagnétique (CEM) de l'appareillage électrique et électronique du réseau haute tension conformément à la CEI/TR 61000-5-2.

10.2.3 Installations de mise à la terre haute et basse tension

Lorsque des installations de mise à la terre haute et basse tension existent à proximité l'une de l'autre et ne constituent pas une installation de mise à la terre globale, une partie de l'élévation du potentiel de terre (EPR) de l'installation haute tension peut s'appliquer à l'installation basse tension. Deux méthodes sont actuellement utilisées:

a) interconnexion de toutes les installations de mise à la terre haute tension avec les installations de mise à la terre basse tension;
b) séparation des installations de mise à la terre haute tension des installations de mise à la terre basse tension.

Dans tous les cas, les exigences pertinentes concernant les potentiels de pas, de contact et de transfert spécifiées ci-dessous doivent être conformes pour l'intérieur d'un poste et une installation BT alimentée par celui-ci.

NOTE Lorsque la pratique le permet, une interconnexion est préférable.

10.2.3.1 Alimentation basse tension uniquement à l'intérieur de postes HT

Lorsque l'installation BT est entièrement confinée dans l'emprise du réseau de terre de l'installation HT, les deux installations de mise à la terre doivent être interconnectées, même s'il n'y a pas d'installation de mise à la terre globale.

10.2.3.2 Alimentation basse tension issue ou arrivant à des postes HT

La conformité totale est assurée si le réseau de mise à la terre de l'installation HT fait partie d'une installation de mise à la terre globale ou est connecté, dans un réseau équilibré, à un conducteur de neutre HT mis à la terre en des points multiples. En l'absence d'installation de mise à la terre globale, les exigences minimales du Tableau 5 doivent être utilisées pour identifier les situations où l'interconnexion des installations de mise à la terre de l'alimentation basse tension extérieure à l'installation haute tension est réalisable.

Si les installations de mise à la terre haute tension et basse tension sont séparées, la méthode consistant à séparer les prises de terre doit être choisie de façon à ce que l'installation basse tension ne fasse courir aucun risque aux personnes ou au matériel. Cela signifie que les potentiels de contact, de pas et de transfert et les contraintes de tension dans l'installation BT provoqués par un défaut haute tension se situent dans les limites appropriées.

10.2.3.3 BT à proximité de postes HT

Il convient d'accorder une attention toute particulière aux installations BT situées dans la zone d'influence de l'installation de mise à la terre des postes HT.

Pour les installations industrielles et commerciales, une installation de mise à la terre commune peut être utilisée. La proximité immédiate des matériels ne permet pas de séparer les installations de mise à la terre.

Tableau 5 – Exigences minimales pour l'interconnexion d'installations de mise à la terre basse et haute tension basées sur les limites d'EPR

Type d'installation BT [a,b]		Exigences EPR		
		Tension de contact	Tension de contrainte [c]	
			Durée de défaut $t_f \leq 5$ s	Durée de défaut $t_f > 5$ s
TT		Non applicable	EPR ≤ 1 200 V	EPR ≤ 250 V
TN		EPR ≤ $F \cdot U_{Tp}$ [d, e]	EPR ≤ 1 200 V	EPR ≤ 250 V
IT	Conducteur de terre de protection distribué	Conforme au réseau TN	EPR ≤ 1 200 V	EPR ≤ 250 V
	Conducteur de terre de protection non distribué	Non applicable	EPR ≤ 1 200 V	EPR ≤ 250 V

a Pour les définitions du type de réseaux basse tension, voir la CEI 60364-1.

b Pour les matériels de télécommunications, il convient d'utiliser les recommandations de l'UIT.

c La limite peut être augmentée si le matériel BT approprié est installé ou des différences de potentiel locales, basées sur des mesures ou des calculs, peuvent se substituer à l'EPR.

d Si le conducteur PEN ou neutre du réseau basse tension est connecté à la terre uniquement au niveau de l'installation de mise à la terre haute tension, la valeur de F doit être 1.

e U_{Tp} est issue de la Figure 12

NOTE La valeur typique de F est 2. Des valeurs plus élevées de F peuvent être appliquées lorsqu'il existe des connexions supplémentaires du conducteur PEN à la terre. Pour certaines structures de sol, la valeur de F peut aller jusqu'à 5. Cette règle doit être appliquée avec prudence pour des sols à fortes différences de résistivité, dont la couche supérieure présente une résistivité plus élevée. Dans ce cas, la tension de contact peut dépasser 50 % de l'EPR.

10.3 Conception des installations de mise à la terre

10.3.1 Généralités

La conception d'une installation de mise à la terre peut être effectuée comme suit:

a) recueil des données, par exemple, le courant de défaut à la terre, la durée du défaut et sa disposition;

b) conception initiale de l'installation de mise à la terre basée sur les exigences fonctionnelles;

c) déterminer si elle fait partie intégrante d'une installation de mise à la terre globale;

d) dans le cas contraire, déterminer les caractéristiques du sol, par exemple, la résistivité spécifique des couches géologiques;

e) déterminer~~,~~ le courant ~~écoulé~~ s'écoulant dans le sol par ~~l'ensemble des prises de l'installation de mise à la~~ terre, à partir du courant de défaut à la terre;

f) déterminer l'impédance globale de la terre à partir de la disposition, des caractéristiques du sol, des installations de mise à la terre parallèles;

g) déterminer l'élévation du potentiel de terre;

h) déterminer la tension de contact admissible;

i) si l'élévation du potentiel de terre est inférieure à la tension de contact admissible et si les exigences du Tableau 5 sont satisfaites, la conception est alors achevée;

j) dans le cas contraire, déterminer si les tensions de contact à l'intérieur et au voisinage de l'installation de mise à la terre sont inférieures aux limites tolérables;

k) déterminer si les potentiels transférés présentent un danger à l'intérieur ou à l'extérieur de l'installation d'énergie électrique; si oui, appliquer les mesures d'atténuation sur le site exposé;

l) déterminer si le matériel basse tension est exposé à une tension de contrainte excessive; si oui, appliquer les mesures d'atténuation, ce qui peut inclure la séparation des installations de mise à la terre haute et basse tension;

~~m) déterminer si le courant de circulation dans le neutre du transformateur peut entraîner des différences de potentiel excessives entre différentes parties de l'installation de mise à la terre; si oui, appliquer les mesures d'atténuation;~~

Une fois les critères ci-dessus satisfaits, la conception peut être affinée, si nécessaire, en répétant les étapes ci-dessus. Une conception détaillée est nécessaire pour s'assurer que toutes les parties conductrices accessibles sont reliées à la terre. Les parties conductrices extérieures doivent être reliées à la terre le cas échéant.

Le diagramme de ce processus de conception est indiqué à l'Annexe D.

La prise de terre structurelle doit être reliée à la partie conductrice accessible et faire partie intégrante de l'installation de mise à la terre. Si elle n'est pas reliée à la partie conductrice accessible, une vérification est nécessaire pour s'assurer que toutes les exigences de sécurité sont satisfaites.

Les structures métalliques ayant une protection cathodique peuvent être séparées de l'installation de mise à la terre. Des mesures de prévention, telles que l'étiquetage, doivent être mises en œuvre afin de s'assurer que de telles mesures, lorsqu'elles sont prises, ne soient annulées par des modifications ou des actions de maintenance.

10.3.2 Défauts du réseau électrique

L'objectif est de déterminer le scénario de défaut le plus défavorable pour chaque aspect pertinent des exigences fonctionnelles, car ceux-ci peuvent différer. Les types de défaut suivants doivent être examinés pour chaque niveau de tension présent dans l'installation:

a) trois phases à la terre;

b) deux phases à la terre;

c) une phase à la terre;

d) le cas échéant: entre phases via la terre (double défaut à la terre).

Les défauts à l'intérieur et à l'extérieur du site d'installation doivent être étudiés pour déterminer l'emplacement du défaut le plus contraignant.

10.3.3 Foudre et transitoires

La foudre et les manœuvres de commutation sont des sources de courants et de tensions à haute et à basse fréquence. Des surtensions se produisent en général lors de la commutation de longues sections de câble, de l'actionnement de sectionneurs GIS ou de la commutation de condensateurs dos à dos. Une bonne atténuation nécessite d'une part une densité d'électrodes suffisante aux points d'injection, pour prendre en compte les courants haute fréquence, et d'autre part une installation de mise à la terre suffisamment étendue pour prendre en compte les courants basse fréquence. L'installation de mise à la terre haute tension doit faire partie intégrante du système de protection contre la foudre, et des conducteurs de mise à la terre supplémentaires peuvent être nécessaires aux points d'injection.

Les normes appropriées relatives à la compatibilité électromagnétique et à la foudre doivent être utilisées pour prendre en compte les aspects spécifiques liés à la tenue aux transitoires de l'installation de mise à la terre et de ses composants.

Lorsqu'une installation industrielle ou commerciale comporte plusieurs bâtiments ou emplacements, toutes les installations de mise à la terre doivent être interconnectées. Dans la mesure où, lors de surtensions telles que les coups de foudre, une grande différence de potentiel apparaît entre les installations de mise à la terre de chaque bâtiment et emplacement malgré l'interconnexion, des mesures doivent être prises pour éviter tout dommage au matériel sensible connecté entre les différents bâtiments et emplacements. Il convient, dans toute la mesure du possible, d'utiliser des supports non métalliques, tels que des câbles à fibres optiques, pour l'échange de signaux bas niveau entre de tels emplacements.

10.4 Construction des installations de mise à la terre

Lorsque des travaux de construction impliquent une installation de mise à la terre existante, des mesures de protection doivent être prises pour assurer la sécurité des personnes en cas de défaut.

10.5 Mesures

Des mesures doivent être effectuées après la construction, si nécessaire, pour vérifier l'adéquation de la conception. Les mesures peuvent porter sur l'impédance de l'installation de mise à la terre, les tensions de contact et de pas présumées en différents points, et le potentiel de transfert le cas échéant. Lors de la mesure des tensions de contact et de pas dans des conditions d'essai, par exemple, essai par injection de courant, deux choix sont possibles. Mesurer les tensions de contact et de pas présumées au moyen d'un voltmètre à haute impédance, ou mesurer les tensions de contact et de pas effectives aux bornes d'une résistance appropriée représentant le corps humain.

10.6 Maintenabilité

10.6.1 Contrôles

La construction de l'installation de mise à la terre doit être effectuée de telle sorte que son état puisse être examiné lors des inspections périodiques. Des excavations pratiquées en des points représentatifs et le contrôle visuel représentent des moyens appropriés qui doivent être pris en considération.

10.6.2 Mesures

La conception et la mise en œuvre de l'installation de mise à la terre doivent permettre d'effectuer des mesures périodiques ou après des modifications importantes affectant les exigences fondamentales, ou même lors des essais de continuité.

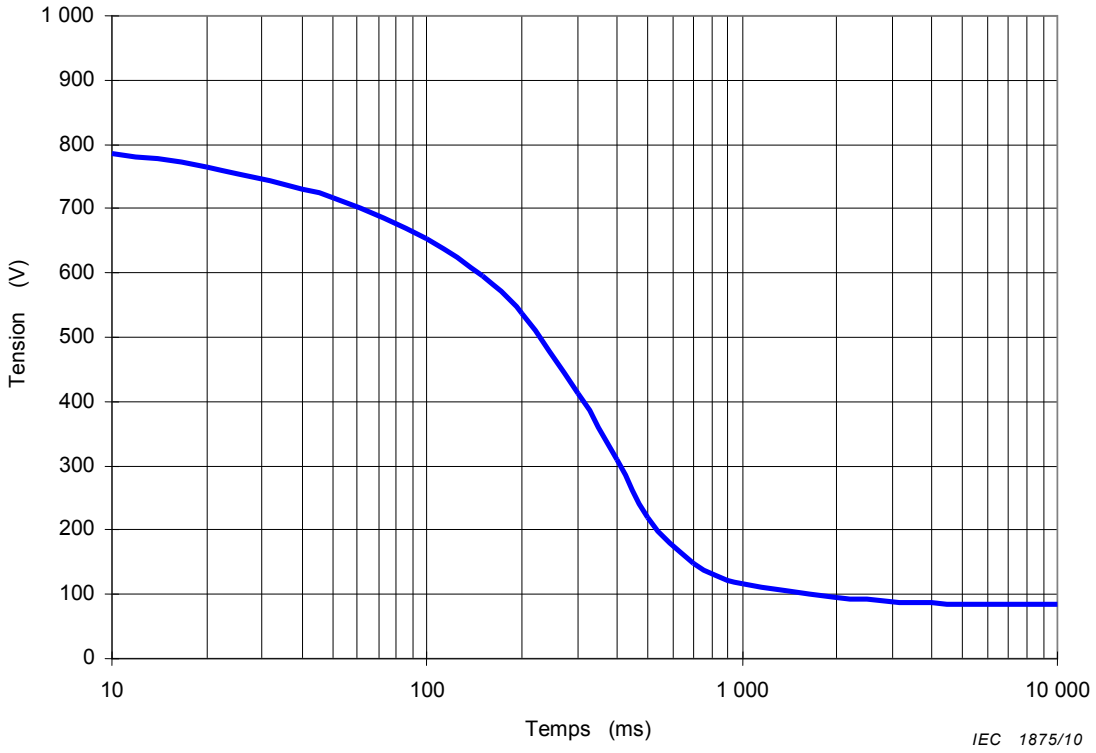


Figure 12 – Tension de contact admissible U_{Tp}

11 Contrôle et essais

11.1 Généralités

Des contrôles et essais doivent être effectués pour vérifier la conformité de l'installation avec la présente norme et la conformité du matériel avec les spécifications techniques applicables.

Les éléments suivants doivent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur:

– l'étendue du contrôle et des essais;
– les spécifications applicables;
– l'étendue et le type de documentation fournie.

NOTE Les essais spécifiques sur site pour les matériels fabriqués en usine et soumis à des essais de type et pour les ensembles fabriqués en usine sont indiqués et basés sur les normes de la CEI.

La vérification peut être effectuée par les méthodes suivantes:

a) contrôles visuels;
b) essais de fonctionnement;
c) mesurage.

Les contrôles et essais des parties des installations électriques peuvent être effectués après la livraison ainsi que lorsque l'installation est terminée.

Les activités typiques généralement effectuées sont, par exemple:

- la vérification des caractéristiques du matériel (y compris les valeurs assignées) pour les conditions d'exploitation données;
- la vérification des espaces libres minimaux entre les parties actives et entre ces dernières et la terre;
- l'essai de tension à fréquence industrielle pour les appareillages;
- l'essai de tension pour les câbles;
- la vérification des hauteurs minimales et des distances aux barrières de protection;
- les contrôles visuels et/ou essais de fonctionnement des matériels électriques et des parties de l'installation;
- les essais de fonctionnement et/ou la mesure des dispositifs de protection, de surveillance, de mesure et de commande;
- le contrôle des marquages, panneaux de sécurité et dispositifs de sécurité;
- la vérification du classement correct de résistance au feu des bâtiments/enceintes;
- la vérification du caractère opérationnel des issues de secours;
- la vérification de l'installation de mise à la terre.

11.2 Vérification des performances spécifiées

Des essais sont généralement effectués sur les divers équipements d'une installation aux stades appropriés du contrat afin de vérifier une dernière fois les performances de l'installation. Les essais exigés, leurs conditions et leur organisation sont à définir. Cela peut comprendre la définition de prestation de services sur site, du personnel, etc.

11.3 Essais lors de l'installation et de la mise en service

L'utilisateur et le fournisseur doivent définir ensemble les exigences (méthodes et critères d'acceptation) pour les essais lors de l'installation et de la mise en service, en donnant une liste des normes d'essai à appliquer. Cela peut inclure des essais de fonctionnement destinés à démontrer la capacité du matériel à satisfaire aux exigences d'exploitation, telles que le démarrage et l'arrêt automatiques.

Il convient que le matériel d'essai utilisé pour démontrer la satisfaction aux exigences de conception fasse l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur.

L'utilisateur et le fournisseur doivent convenir d'un programme d'essais pour les composants et systèmes lors des périodes d'installation et de mise en service. Il convient que les services nécessaires pour permettre la réalisation des essais fassent l'objet d'un accord entre les parties.

NOTE Il convient de mentionner dans l'enquête les conséquences contractuelles des résultats d'essais lors de l'installation et de la mise en service, le cas échéant.

11.4 Essai de mise en exploitation

Un essai de mise en exploitation doit être effectué sur accord entre l'utilisateur et le fournisseur. L'objet de cet essai est de démontrer l'aptitude fonctionnelle de l'installation haute tension. Par conséquent, lors de l'essai, il convient que tous les composants significatifs fonctionnent.

Il convient que l'accord définisse les conditions de panne d'un composant significatif entraînant un arrêt de l'essai. L'utilisateur peut également spécifier des critères exceptionnels de panne de très courte durée, par exemple, en étendant simplement la période d'essai par le temps de non fonctionnement.

Il convient de définir dans l'enquête les conditions devant être satisfaites pour un essai de mise en exploitation satisfaisant.

NOTE Il convient de mentionner dans l'enquête les conséquences contractuelles des résultats de l'essai de mise en exploitation le cas échéant.

12 Manuel de fonctionnement et de maintenance

Il convient que chaque installation soit accompagnée d'un manuel de fonctionnement décrivant les conditions normales de fonctionnement, les conditions de fonctionnement d'urgence et les procédures de maintenance, ainsi que les instructions de sécurité pour le fonctionnement de l'installation électrique haute tension.

Pour la préparation des manuels et des instructions, la CEI 82079-1 s'applique.

Il convient que chaque installation dispose d'un ensemble de plans et schémas de fonctionnement actualisés dans les locaux. Il convient que ces plans et schémas permettent au personnel d'exploitation et de maintenance d'effectuer des interventions sur l'installation efficacement et en toute sécurité.

Il convient que les fabricants des principaux composants d'une installation fournissent des manuels de fonctionnement et de maintenance, ainsi que des rapports d'essai et d'exploitation. Il convient que ces documents soient disponibles immédiatement si nécessaire.

Il convient que l'itinéraire d'urgence vers l'hôpital le plus proche, ainsi que les numéros de téléphone d'urgence soient affichés en un emplacement visible sur l'installation.

Annexe A
(normative)

Valeurs des niveaux d'isolement assignés et des distances minimales fondées sur les pratiques courantes dans certains pays

Tableau A.1 – Valeurs des niveaux d'isolement assignés et distances minimales dans l'air pour 1 kV < U_m ≤ 245 kV pour la tension la plus élevée pour l'installation U_m non normalisées par la CEI, sur la base des pratiques courantes dans certains pays

Plage de tensions	Tension la plus élevée pour l'installation	Tension assignée de tenue aux fréquences industrielles de courte durée	Tension assignée de tenue au choc de foudre [a]	Distance minimale phase-terre et entre phases *N*	
	U_m **eff.**	U_d **eff.**	U_p **1,2/50 µs** valeur de crête	**Installations intérieures**	**Installations extérieures**
	kV	kV	kV	mm	mm
I	2,75	15	30	60	120
			45	70	120
			60	90	120
	4,76	19	60	90	120
	5,5	19	45	70	120
			60	90	120
			75	120	120
	8,25	27	60	90	120
			75	120	150
			95	160	160
	8,25	26	75	120	150
		35	95	160	160
	15	35	95	160	160
		50	110	180	180
	15,5	35	75	120	150
			85	150	160
			110	180	180
	17,5	38	110	180	
			125	220	
	24	50	150	280	
	25	50	95	190	290
			125	210	
			150		
	25,8	50	125	220	
		70	150	280	
	27	50	95	160	
			125	220	
			150	280	

[a] La tension assignée de tenue au choc est applicable entre phases et entre phase et terre.

Tableau A.2 – Valeurs des niveaux d'isolement assignés et distances minimales dans l'air pour 1 kV < U_m ≤ 245 kV pour la tension la plus élevée pour l'installation U_m non normalisées par la CEI, sur la base des pratiques courantes dans certains pays

Page de tensions	Tension la plus élevée pour l'installation	Tension assignée de tenue aux fréquences industrielles de courte durée	Tension assignée de tenue au choc de foudre [a]	Distance minimale phase-terre et entre phases N	
	U_m **eff.**	U_d **eff.**	U_p **1,2/50 µs** valeur de crête	**Installations intérieures**	**Installations extérieures**
	kV	kV	kV	mm	mm
I	30	70	160	290	
	36	70	200	380	
	38	70	125	220	
			150	280	
			200	360	
	38	70	150	280	
		95	200	360	
	38,5	75	155	270	400
			180	320	
			195		
	40,5	80	190	350	
	41,5	80	170	320	
			200	360	
	48,3	105	150	280	
			200	360	
			250	480	
	48,3	120	250	480	
	72,5	160	350	690	
	82,5	150	380	750	
	100	150	380	750	
		185	450	900	
	204	275	650	1 300	
		325	750	1 500	

[a] La tension assignée de tenue au choc est applicable entre phases et entre phase et terre.

Tableau A.3 – Valeurs des niveaux d'isolement assignés et distances minimales dans l'air pour U_m > 245 kV pour les tensions les plus élevées pour l'installation U_m non normalisées par la CEI, sur la base des pratiques courantes dans certains pays

Plage de tensions	Tension la plus élevée pour l'installa-tion	Tension assignée de tenue aux fréquen-ces indus-trielles de courte durée	Tension assignée de tenue au choc de foudre [a]	Tension assignée de tenue aux surtensions de manœuvre	Distance minimale phase-terre		Tension assignée de tenue aux surten-sions de manœuvre	Distance minimale phase-terre	
	U_m **eff.**	U_d **eff.**	U_p **1,2/50 µs** valeur de crête	U_p **Phase-terre** **250/ 2 500 µs** valeur de crête	**Structure à conduc-teur**	**Struc-ture à tige** N	U_p **Entre phases** **250/ 2 500 µs** valeur de crête	**Conduc-teur à conduc-teur en parallèle**	**Conduc-teur à tige**
	kV	kV	kV	kV	mm		kV	mm	
	362	520	1 300	950	2 400	2 900	1 425	3 100	3 600
	550	680	1 800	1 175		4 000			6 500
	550	710	1 800	1 175	3 300	4 100	2 210	6 100	7 400
II	550	775	1 800	1 175	3 350	3 650		4 600	5 200
	550	635	1 300 1 425 1 550 1 800			5 800			5 800

[a] La tension assignée de tenue au choc est applicable entre phases et entre phase et terre.

Annexe B
(normative)

Méthode de calcul des tensions de contact admissibles

Formule:

$$U_{Tp} = I_B(t_f) \cdot \frac{1}{HF} \cdot Z_T(U_T) \cdot BF$$

Facteurs:

Tension de contact	U_T	
Tension de contact admissible	U_{Tp}	
Durée de défaut	t_f	
Limite de courant traversant le corps humain	$I_B(t_f)$	c2 à la Figure 20 et dans le Tableau 11 de la CEI/TS 60479-1:2005, lorsque la probabilité de fibrillation ventriculaire est inférieure à 5 %. I_B dépend de la durée de défaut.
Facteur du courant de cœur	HF	Tableau 12 de la CEI/TS 60479-1:2005, c'est-à-dire 1,0 de la main gauche aux pieds, 0,8 de la main droite aux pieds, 0,4 d'une main à l'autre
Impédance du corps	$Z_T(U_T)$	Tableau 1 et Figure 3 de la CEI/TS 60479-1:2005. Z_T pour 50 % de la population Z_T dépend de la tension de contact. Par conséquent, le premier calcul doit commencer avec un niveau supposé
Facteur du corps	BF	Figure 3 de la CEI/TS 60479-1:2005, c'est-à-dire 0,75 de la main jusqu'aux deux pieds, 0,5 des deux mains aux deux pieds

NOTE 1 Des conditions différentes de tension de contact, par exemple, main gauche-pieds ou main-main, conduisent à des tensions de contact différentes. La Figure 4 de la présente norme est basée sur une moyenne pondérée prise à partir de quatre configurations différentes de tension de contact. Tension de contact main gauche-pieds (poids 1,0), tension de contact main droite-pieds (poids 1,0), tension de contact deux mains-deux pieds (poids 1,0) et tension de contact main-main (poids 0,7).

NOTE 2 Différentes valeurs de paramètres sont applicables dans certains pays (comme indiqué dans l'Avant-propos).

Pour la prise en compte spécifique des résistances additionnelles, la formule permettant de déterminer la tension de contact admissible présumée devient:

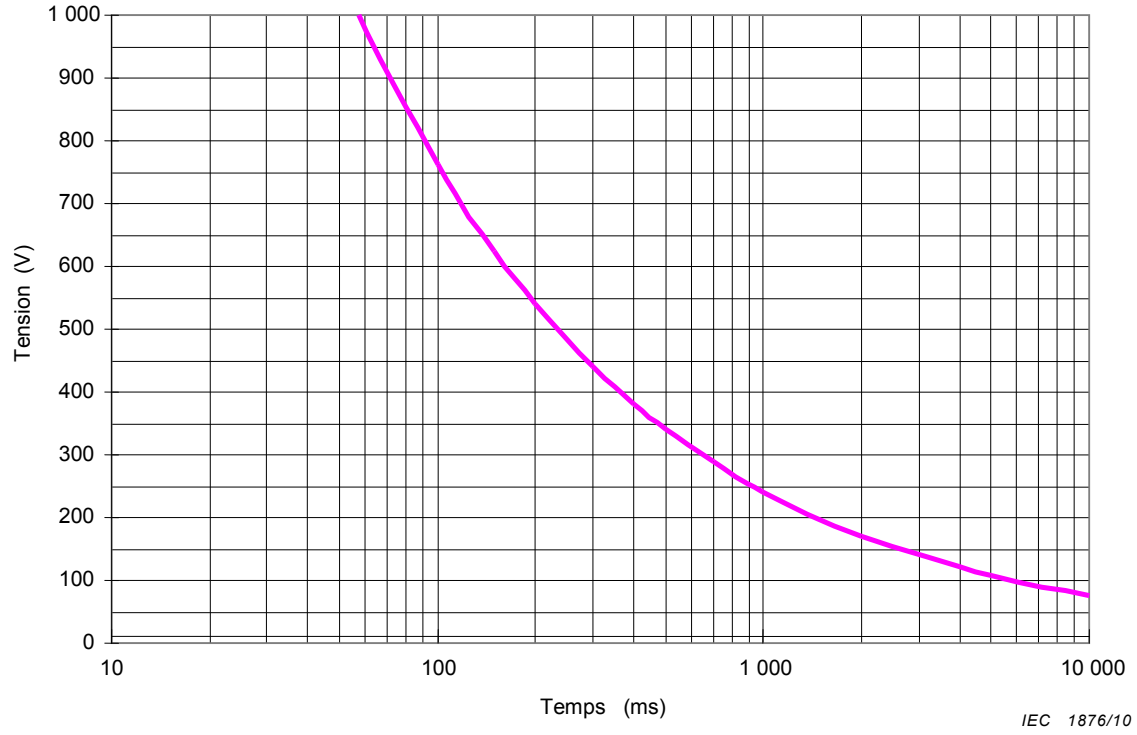
$$U_{vTp} = I_B(t_f) \cdot \frac{1}{HF} \cdot \left(Z_T(U_T) \cdot BF + R_H + R_F\right)$$

Facteurs supplémentaires:

Tension de contact admissible présumée	U_{vTp}
Résistance additionnelle pour la main	R_H
Résistance additionnelle pour le pied	R_F

Annexe C
(normative)

Tension de contact admissible conformément à l'IEEE 80

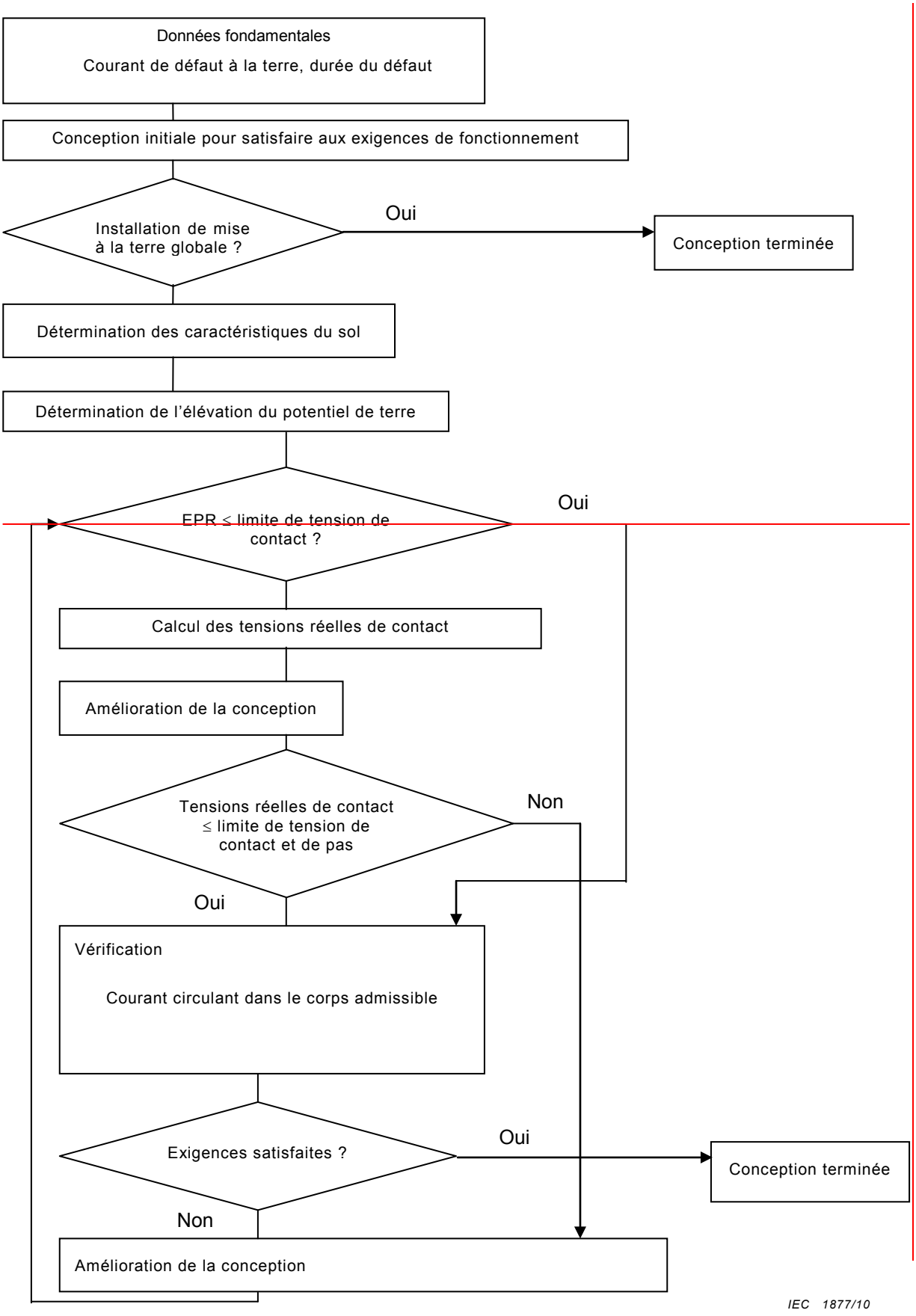


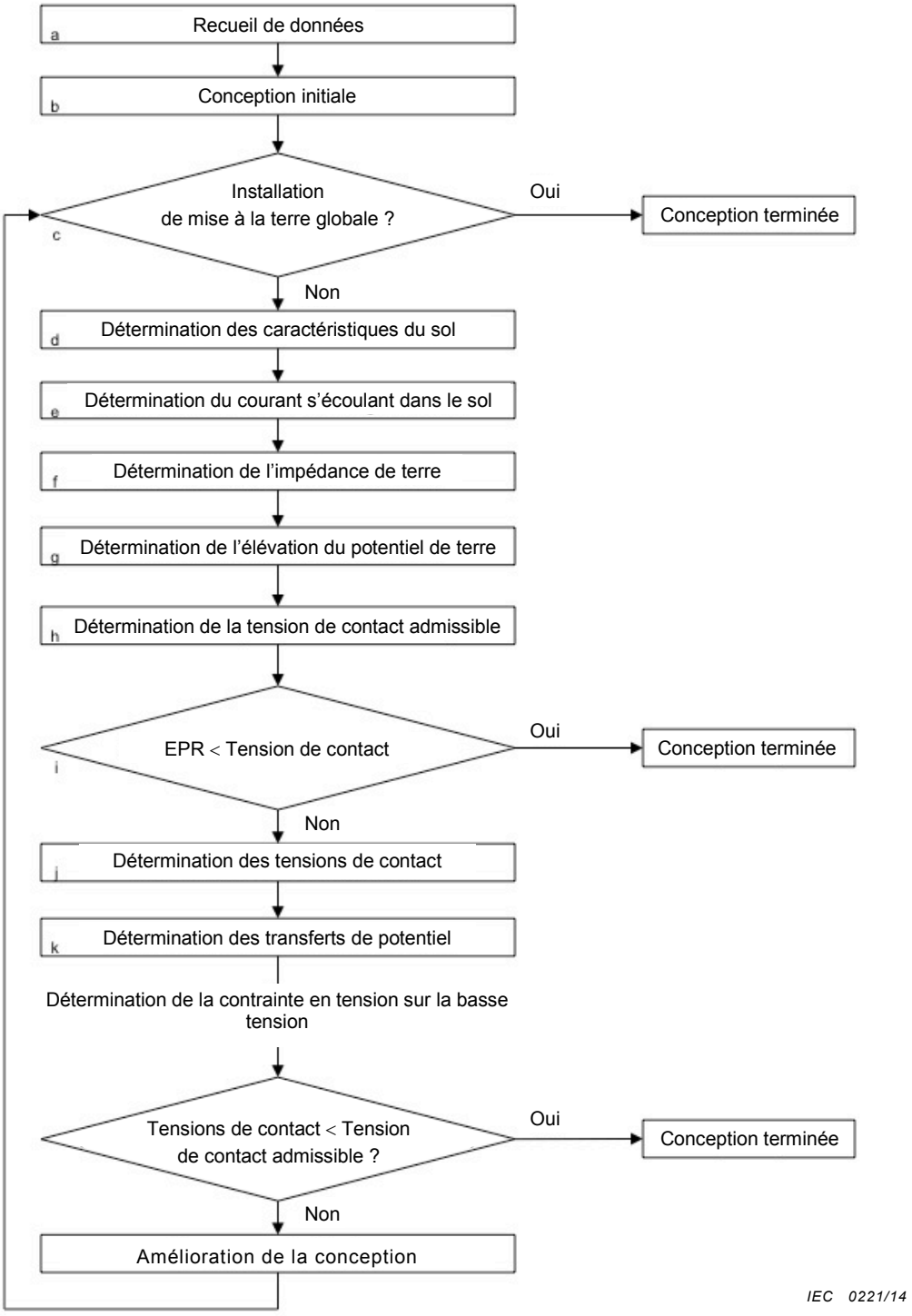
NOTE 1 La courbe de tensions de contact est basée sur une résistivité du sol spécifique de 100 Ωm et une couche de surface de 0,1 m avec une résistivité spécifique de 1 000 Ωm.

NOTE 2 La Figure C.1 donne l'exemple d'une personne d'un poids de 50 Kg et une surface en gravier.

Figure C.1 – Tension de contact admissible U_{Tp} conformément à l'IEEE 80

Annexe D
(normative)
Diagramme de conception d'une installation de mise à la terre




a Recueil de données
b Conception initiale
c Installation de mise à la terre globale ?
Oui
Conception terminée
Non
d Détermination des caractéristiques du sol
e Détermination du courant s'écoulant dans le sol
f Détermination de l'impédance de terre
g Détermination de l'élévation du potentiel de terre
h Détermination de la tension de contact admissible
i EPR < Tension de contact
Oui
Conception terminée
Non
j Détermination des tensions de contact
k Détermination des transferts de potentiel
Détermination de la contrainte en tension sur la basse tension
Tensions de contact < Tension de contact admissible ?
Oui
Conception terminée
Non
Amélioration de la conception
IEC 0221/14

Annexe E
(informative)

Méthodes de protection contre les coups de foudre directs

E.1 Généralités

Depuis plusieurs années, les essais sur maquettes, les mesures, les observations et l'expérience ont montré que les coups de foudre directs peuvent être évités avec une grande fiabilité en utilisant les agencements de conducteurs ou de tiges de paratonnerres suivants. Les zones de protection montrées aux Figures E.1 à E.4 sont adaptées pour les installations d'une hauteur maximale, H, de 25 m. Pour les hauteurs supérieures à 25 m, la zone de protection est réduite.

NOTE La hauteur de 25 m correspond à la structure d'un réseau de 420 kV.

La méthode suivante fournit un niveau de protection suffisant sans études détaillées de la coordination d'isolement.

E.2 Câbles de garde

Un simple câble de garde fournit une zone de protection en forme de tente, dont les limites sont déterminées par des arcs de rayon 2 H commençant au pic du câble de garde (voir Figure E.1) et suivant la longueur du câble.

Deux câbles de garde séparés d'une distance inférieure ou égale à 2 H fournissent une zone de protection étendue limitée par les deux conducteurs, un arc de rayon R et de centre M_R à une hauteur 2 H (voir Figure E.2).

Cette zone est continue tout le long des conducteurs.

E.3 Paratonnerres

Les traceurs ascendants sont développées plus tôt à partir des paratonnerres qu'à partir des câbles de garde.

La zone de protection d'un paratonnerre est généralement plus étendue que celle d'un câble écran, à hauteur d'installation égale.

Un simple paratonnerre fournit une zone de protection en forme de cône dont les limites sont un arc de rayon 3 H passant par la pointe du paratonnerre (voir Figure E.3).

Deux paratonnerres séparés d'une distance inférieure ou égale à 3 H fournissent une zone de protection étendue ~~(voir Figure E.4)~~ limitée par un arc de rayon R et de centre M_R à une hauteur 3 H passant par la pointe des paratonnerres (voir Figure E.4).

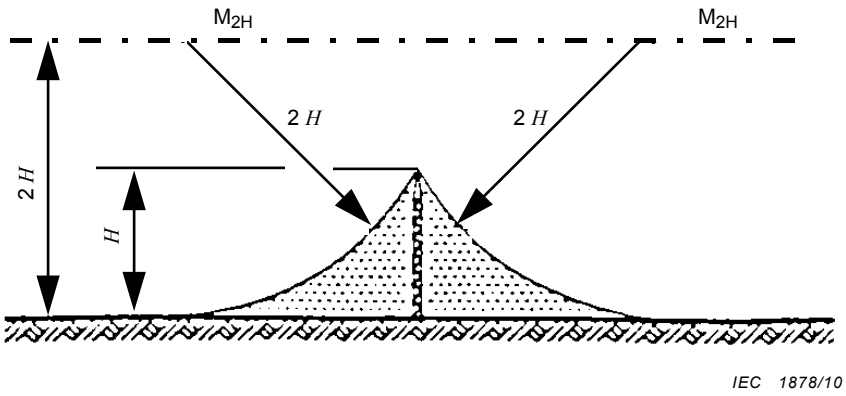
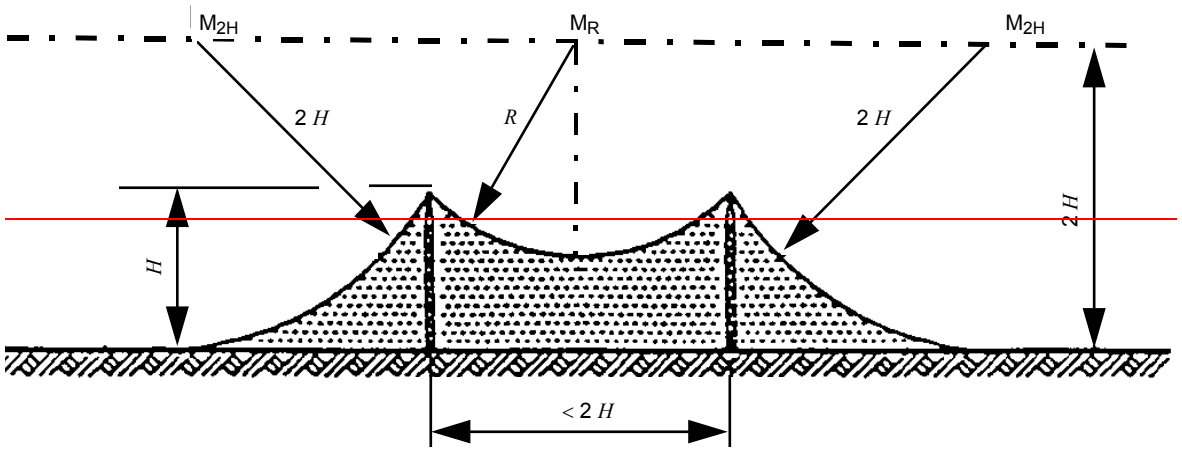


Figure E.1 – Câble de garde simple



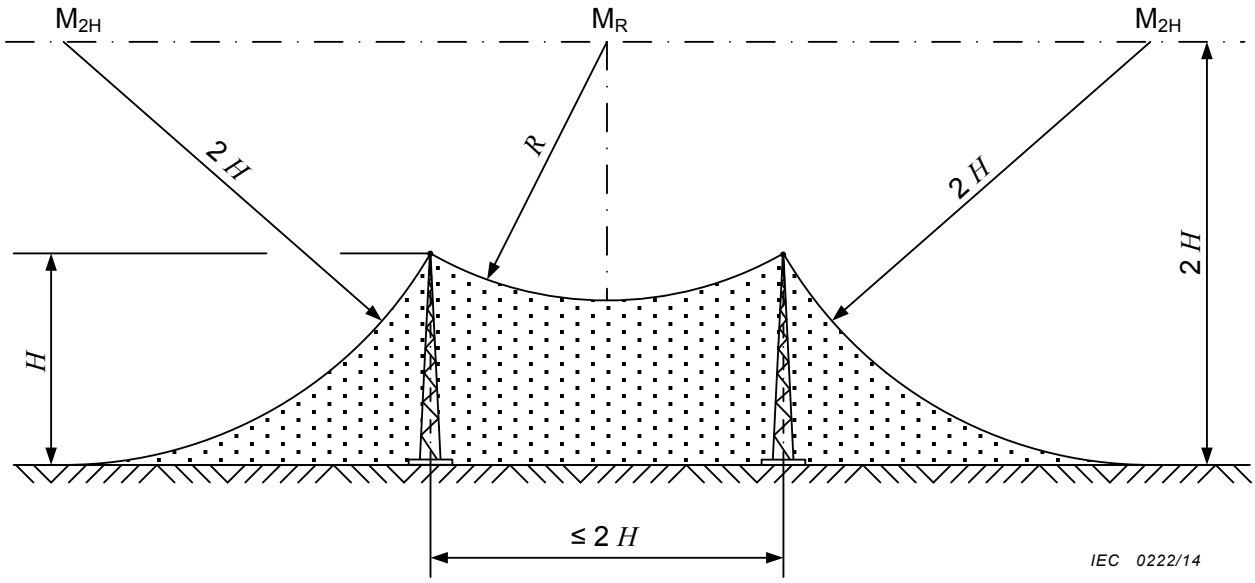


Figure E.2 – Deux câbles de garde simple

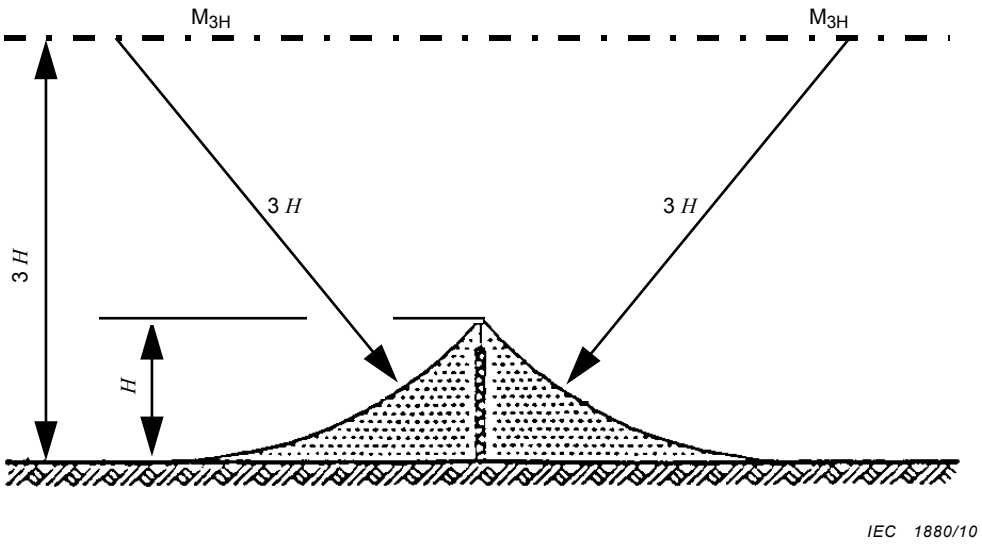
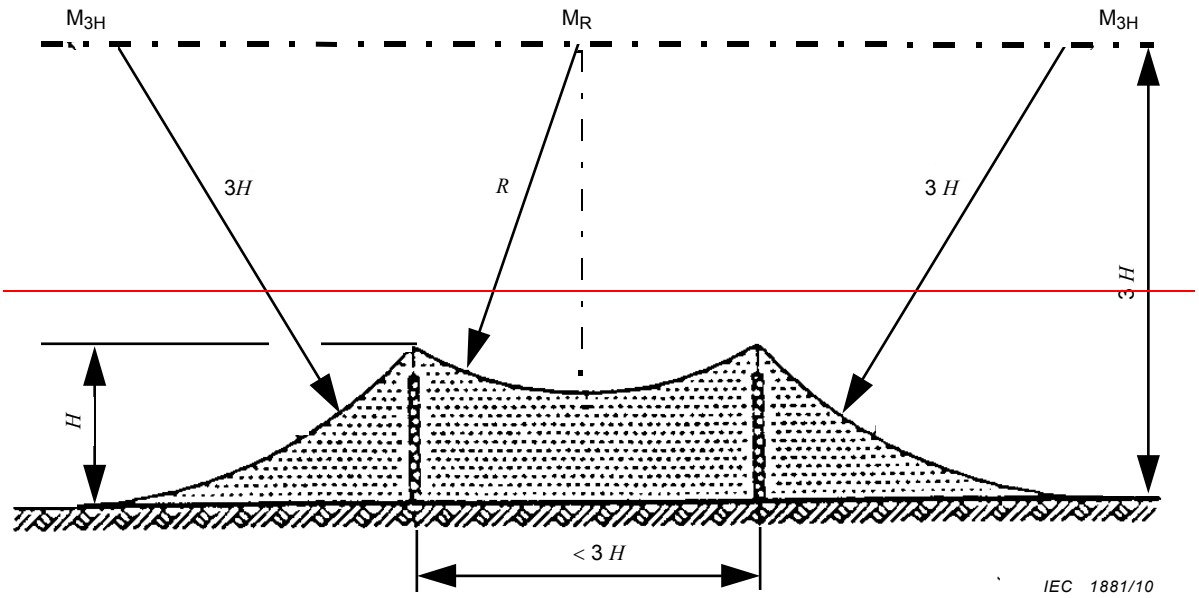


Figure E.3 – Paratonnerre seul



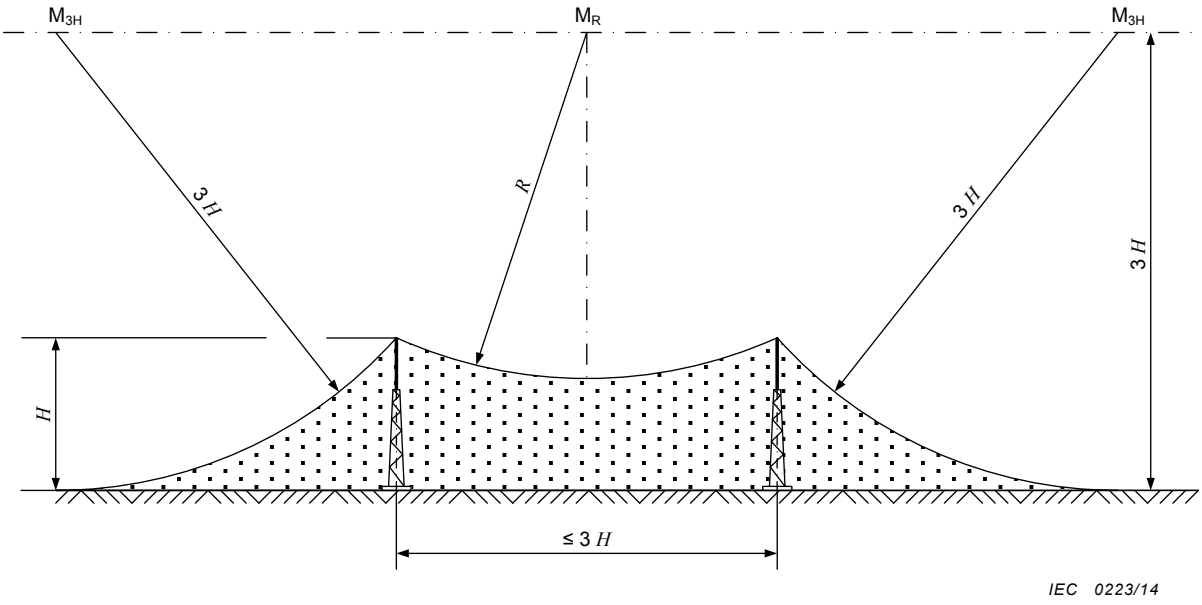


Figure E.4 – Deux paratonnerres

Bibliographie

[1] CISPR 18-1, *Caractéristiques des lignes et des équipements à haute tension relatives aux perturbations radioélectriques – Première partie: Description des phénomènes*

[2] CISPR 18-2, *Caractéristiques des lignes et des équipements à haute tension relatives aux perturbations radioélectriques – Deuxième partie: Méthodes de mesure et procédure d'établissement des limites*

[3] CISPR 18-3, *Caractéristiques des lignes et des équipements à haute tension relatives aux perturbations radioélectriques – Troisième partie: Code pratique de réduction du bruit radioélectrique*

[4] CEI 60038, *Tensions normales de la CEI*

[5] CEI 60044-6, *Transformateurs de mesure – Partie 6: Prescriptions concernant les transformateurs de courant pour protection pour la réponse en régime transitoire*

[6] CEI 60050-151, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

[7] CEI 60050-195, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 195: Mise à la terre et protection contre les chocs électriques*

[8] CEI 60050-411, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 411: Machines tournantes*

[9] CEI 60050-441, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 441: Appareillage et fusibles*

[10] CEI 60050-601, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 601: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Généralités*

[11] CEI 60050-602, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 602: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Production*

[12] CEI 60050-604, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 604: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Exploitation*

[13] CEI 60050-605, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 605: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Postes*

[14] CEI 60050-651, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 651: Travail sous tension*

[15] CEI 60050-826, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 826: Installations électriques*

[16] CEI 60068 (toutes les parties), *Essais d'environnement*

[17] CEI 60364-4-41, *Installations électriques à basse tension – Partie 4-41: Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les chocs électriques*

[18] CEI 60480, *Lignes directrices relatives au contrôle et au traitement de l'hexafluorure de soufre (SF_6) prélevé sur le matériel électrique et spécification en vue de sa réutilisation*

[19] CEI 60664-1, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*

[20] CEI 60721-2-2, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2-2: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Précipitations et vent*

[21] CEI 60721-2-3, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2-3: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Pression atmosphérique*

[22] CEI 60721-2-4, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2-4: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Rayonnement solaire et température*

[23] CEI 62271-100, *Appareillage à haute tension – Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif*

[24] CEI 62271-102, *Appareillage à haute tension – Partie 102: Sectionneurs et sectionneurs de terre à courant alternatif*

[25] CEI 62271-103, *Appareillage à haute tension – Partie 103: Sectionneurs pour les tensions assignées supérieures ou égales à 52 kV*

[26] CEI 62271-104, *Appareillage à haute tension – Partie 104: Sectionneurs pour les tensions assignées de 52 kV et plus*

[27] CEI 62271-105, *Appareillage à haute tension – Partie 105: Combinés interrupteurs-fusibles pour courant alternatif*

[28] IEEE Guide 998:1996, IEEE Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations

[29] CIGRE Report 23-04:1972, Handling of SF_6 and its decomposition products in gas insulated switchgear

[30] CIGRE Report 23-07:1991, Adaptation of substations to their environment both in urban and rural areas, including noise problems and oil pollution of subsoil

[31] CIGRE Guide No. 234: August 2003, SF6 Recycling Guide (Revision 2003)

[32] CIGRE Guide No. 276: August 2005, Guide for the preparation of customized 'Practical SF6 Handling Instructions'

[33] Factory Mutual Global Standard 3990, 06/1997: Approval standard for Less or Nonflammable Liquid Insulated Transformers

[34] CEI 60092 (toutes les parties), Installations électriques à bord des navires

[35] IEC 61892 (toutes les parties), Mobile and fixed offshore units – Electrical installations (disponibles en anglais seulement)

[36] EN 13501-1, Classement au feu des produits et éléments de construction – Partie 1: Classement à partir des données d'essais de réaction au feu

[37] EN 13501-2, Classement au feu des produits et éléments de construction – Partie 2: Classement à partir des données d'essais de résistance au feu à l'exclusion des produits utilisés dans les systèmes de ventilation

_____

IEC 61936-1

Edition 2.1 2014-02

FINAL VERSION

VERSION FINALE

colour inside

Power installations exceeding 1 kV a.c. – Part 1: Common rules

Installations électriques en courant alternatif de puissance supérieure à 1 kV – Partie 1: Règles communes

IEC 61936-1:2010-08+AMD1:2014-02 CSV(en-fr)

CONTENTS

CONTENTS 2
FOREWORD 7
INTRODUCTION 10
1 Scope 11
2 Normative references 12
3 Terms and definitions 15
3.1 General definitions 15
3.2 Definitions concerning installations 17
3.3 Definitions concerning types of installations 17
3.4 Definitions concerning safety measures against electric shock 18
3.5 Definitions concerning clearances 18
3.6 Definitions concerning control and protection 19
3.7 Definitions concerning earthing 20
4 Fundamental requirements 24
4.1 General 24
4.1.1 General requirements 24
4.1.2 Agreements between supplier (manufacturer) and user 24
4.2 Electrical requirements 25
4.2.1 Methods of neutral earthing 25
4.2.2 Voltage classification 26
4.2.3 Current in normal operation 26
4.2.4 Short-circuit current 26
4.2.5 Rated frequency 27
4.2.6 Corona 27
4.2.7 Electric and magnetic fields 27
4.2.8 Overvoltages 27
4.2.9 Harmonics 27
4.3 Mechanical requirements 27
4.3.1 Equipment and supporting structures 27
4.3.2 Tension load 28
4.3.3 Erection load 28
4.3.4 Ice load 28
4.3.5 Wind load 28
4.3.6 Switching forces 28
4.3.7 Short-circuit forces 29
4.3.8 Loss of conductor tension 29
4.3.9 Seismic loads 29
4.3.10 Dimensioning of supporting structures 29
4.4 Climatic and environmental conditions 29
4.4.1 General 29
4.4.2 Normal conditions 30
4.4.3 Special conditions 31
4.5 Special requirements 32
4.5.1 Effects of small animals and micro-organisms 32
4.5.2 Noise level 32
4.5.3 Transport 32

5 Insulation 32
5.1 General 32
5.2 Selection of insulation level 33
5.2.1 Consideration of methods of neutral earthing 33
5.2.2 Consideration of rated withstand voltages 33
5.3 Verification of withstand values 33
5.4 Minimum clearances of live parts 33
5.4.1 General 33
5.4.2 Minimum clearances in voltage range I 34
5.4.3 Minimum clearances in voltage range II 34
5.5 Minimum clearances between parts under special conditions 37
5.6 Tested connection zones 37
6 Equipment 37
6.1 General requirements 37
6.1.1 Selection 37
6.1.2 Compliance 37
6.1.3 Personnel safety 37
6.2 Specific requirements 38
6.2.1 Switching devices 38
6.2.2 Power transformers and reactors 38
6.2.3 Prefabricated type-tested switchgear 39
6.2.4 Instrument transformers 39
6.2.5 Surge arresters 40
6.2.6 Capacitors 40
6.2.7 Line traps 40
6.2.8 Insulators 40
6.2.9 Insulated cables 41
6.2.10 Conductors and accessories 43
6.2.11 Rotating electrical machines 43
6.2.12 Generating units 44
6.2.13 Generating unit main connections 44
6.2.14 Static converters 45
6.2.15 Fuses 45
6.2.16 Electrical and mechanical Interlocking 45
7 Installations 46
7.1 General requirements 46
7.1.1 Circuit arrangement 46
7.1.2 Documentation 47
7.1.3 Transport routes 47
7.1.4 Aisles and access areas 47
7.1.5 Lighting 47
7.1.6 Operational safety 48
7.1.7 Labelling 48
7.2 Outdoor installations of open design 48
7.2.1 Protective barrier clearances 48
7.2.2 Protective obstacle clearances 49
7.2.3 Boundary clearances 49
7.2.4 Minimum height over access area 49
7.2.5 Clearances to buildings 49

7.2.6 External fences or walls and access doors 50
7.3 Indoor installations of open design 50
7.4 Installation of prefabricated type-tested switchgear 50
7.4.1 General 50
7.4.2 Additional requirements for gas-insulated metal-enclosed switchgear 51
7.5 Requirements for buildings 52
7.5.1 Introduction 52
7.5.2 Structural provisions 52
7.5.3 Rooms for switchgear 53
7.5.4 Maintenance and operating areas 54
7.5.5 Doors 54
7.5.6 Draining of insulating liquids 54
7.5.7 Air conditioning and ventilation 55
7.5.8 Buildings which require special consideration 55
7.6 High voltage/low voltage prefabricated substations 55
7.7 Electrical installations on mast, pole and tower 55
8 Safety measures 61
8.1 General 61
8.2 Protection against direct contact 61
8.2.1 Measures for protection against direct contact 61
8.2.2 Protection requirements 62
8.3 Means to protect persons in case of indirect contact 63
8.4 Means to protect persons working on electrical installations 63
8.4.1 Equipment for isolating installations or apparatus 63
8.4.2 Devices to prevent reclosing of isolating devices 64
8.4.3 Devices for determining the de-energized state 64
8.4.4 Devices for earthing and short-circuiting 64
8.4.5 Equipment acting as protective barriers against adjacent live parts 65
8.4.6 Storage of personal protection equipment 66
8.5 Protection from danger resulting from arc fault 66
8.6 Protection against direct lightning strokes 66
8.7 Protection against fire 67
8.7.1 General 67
8.7.2 Transformers, reactors 67
8.7.3 Cables 71
8.7.4 Other equipment with flammable liquid 71
8.8 Protection against leakage of insulating liquid and SF_6 71
8.8.1 Insulating liquid leakage and subsoil water protection 71
8.8.2 SF_6 leakage 73
8.8.3 Failure with loss of SF_6 and its decomposition products 73
8.9 Identification and marking 73
8.9.1 General 73
8.9.2 Information plates and warning plates 74
8.9.3 Electrical hazard warning 74
8.9.4 Installations with incorporated capacitors 74
8.9.5 Emergency signs for emergency exits 74
8.9.6 Cable identification marks 74
9 Protection, control and auxiliary systems 80
9.1 Monitoring and control systems 80

9.2 DC and AC supply circuits 81
9.2.1 General 81
9.2.2 AC supply 81
9.2.3 DC supply 82
9.3 Compressed air systems 82
9.4 SF_6 gas handling plants 83
9.5 Hydrogen handling plants 83
9.6 Basic rules for electromagnetic compatibility of control systems 84
9.6.1 General 84
9.6.2 Electrical noise sources in high voltage installations 84
9.6.3 Measures to be taken to reduce the effects of high frequency interference 84
9.6.4 Measures to be taken to reduce the effects of low frequency interference 85
9.6.5 Measures related to the selection of equipment 85
9.6.6 Other possible measures to reduce the effects of interference 86
10 Earthing systems 86
10.1 General 86
10.2 Fundamental requirements 86
10.2.1 Safety criteria 86
10.2.2 Functional requirements 87
10.2.3 High and low voltage earthing systems 87
10.3 Design of earthing systems 88
10.3.1 General 88
10.3.2 Power system faults 89
10.3.3 Lightning and transients 89
10.4 Construction of earthing systems 90
10.5 Measurements 90
10.6 Maintainability 90
10.6.1 Inspections 90
10.6.2 Measurements 90
11 Inspection and testing 91
11.1 General 91
11.2 Verification of specified performances 91
11.3 Tests during installation and commissioning 91
11.4 Trial running 92
12 Operation and maintenance manual 92
Annex A (normative) Values of rated insulation levels and minimum clearances based on current practice in some countries 93
Annex B (normative) Method of calculating permissible touch voltages 96
Annex C (normative) Permissible touch voltage according IEEE 80 97
Annex D (normative) Earthing system design flow chart 98
Annex E (informative) Protection measures against direct lightning strokes 99
Bibliography 102

Figure 1 – Protection against direct contact by protective barriers/protective obstacles within closed electrical operating areas 56
Figure 2 – Boundary distances and minimum height at the external fence/wall 57

Figure 3 – Minimum heights and working clearances within closed electrical operating areas 58
Figure 4 – Approaches with buildings (within closed electrical operating areas) 59
Figure 5 – Minimum approach distance for transport 60
Figure 6 – Separating walls between transformers 75
Figure 7 – Fire protection between transformer and building 77
Figure 8 – Sump with integrated catchment tank 78
Figure 9 – Sump with separate catchment tank 78
Figure 10 – Sump with integrated common catchment tank 79
Figure 11 – Example for small transformers without gravel layer and catchment tank 79
Figure 12 – Permissible touch voltage U_{Tp} 90
Figure C.1 – Permissible touch voltage U_{Tp} according IEEE 80 97
Figure E.1 – Single shield wire 100
Figure E.2 – Two shield wires 100
Figure E.3 – Single lightning rod 101
Figure E.4 – Two lightning rods 101

Table 1 – Minimum clearances in air – Voltage range I (1 kV < U_m ≤ 245 kV) 35
Table 2 – Minimum clearances in air – Voltage range II (U_m > 245 kV) 36
Table 3 – Guide values for outdoor transformer clearances 69
Table 4 – Minimum requirements for the installation of indoor transformers 70
Table 5 – Minimum requirements for interconnection of low-voltage and high-voltage earthing systems based on EPR limits 88
Table A.1 – Values of rated insulation levels and minimum clearances in air for 1 kV < U_m ≤ 245 kV for highest voltage for installation U_m not standardized by the IEC based on current practice in some countries 93
Table A.2 – Values of rated insulation levels and minimum clearances in air for 1 kV < U_m ≤ 245 kV for highest voltage for installation U_m not standardized by IEC based on current practice in some countries 94
Table A.3 – Values of rated insulation levels and minimum clearances in air for U_m > 245 kV for highest voltages for installation U_m not standardized by IEC based on current practice in some countries 95

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER INSTALLATIONS EXCEEDING 1 kV AC –

Part 1: Common rules

FOREWORD

1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

This Consolidated version of IEC 61936-1 bears the edition number 2.1. It consists of the second edition (2010-08) [documents 99/95/FDIS and 99/96/RVD] and its amendment 1 (2014-02) [documents 99/129/FDIS and 99/131/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

This Final version does not show where the technical content is modified by amendment 1. A separate Redline version with all changes highlighted is available in this publication.

This publication has been prepared for user convenience.

International Standard IEC 61936-1 has been prepared by IEC technical committee 99: System engineering and erection of electrical power installations in systems with nominal voltages above 1 kV a.c. and 1,5 kV d.c., particularly concerning safety aspects.

The main changes with respect to the previous edition are listed below:

- new table of references for additional agreements between manufacturer/contractor/planer and user/orderer/owner (4.1.2)
- addition of minimum clearances in air not standardized by IEC but based on current practice in some countries (Annex A)
- deletion of nominal voltages (Table 1, Table 2, Clause 5)
- addition of regulations for fuses (6.2.15)
- simplification of regulations for escape routes (7.5.4)
- deletion of special regulations for operating aisles (7.5.4)
- modification of clearances for fire protection (Table 3)
- modification of safety criteria for earthing systems (10.2.1)
- modified curves of permissibly touch voltages (Figure 12, Annex B)
- deletion of numbering of subclauses without headlines
- change of "should" to "shall" in many cases or change of subclauses with "should" to a note

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all the parts[1] in the IEC 61936 series, under the general title *Power installations exceeding 1 kV a.c.*, can be found on the IEC website

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendment will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "http://webstore.iec.ch" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

The following differences exist in the countries indicated below.

- 4.3.2: The combinations are for example: –40 °C without ice and without wind; –0 °C with ice and without wind; –20 °C with wind. For special projects even value –50 °C without ice and without wind could be needed (Finland)
- 4.4.2.2a: Even class –50 °C could be needed (Finland)
- 6.2.4.1: It shall not be fuses in conductors from current transformers (Norway)
- 7.2.1: Barriers for outdoor installations shall have a minimum height of 2,0 m. They shall fulfil the same requirements as the external fence. The minimum height of live parts behind a barrier shall be N + 300 mm with a minimum of 800 mm (Finland)
- 7.2.2: The use of protective method obstacles is not allowed in electrical installations outside of buildings (Finland)
- 7.2.2: Rails, chains and ropes are not allowed as obstacles (Sweden)
- 7.2.2: The height H for outdoor installations shall be at least H = N + 2 500 mm, with a minimum of 3 000 mm (Sweden)
- 7.2.4: The height H for outdoor installations shall be at least H = N + 2 500 mm, with a minimum of 3 000 mm (Sweden)

[1] At the time of writing, future parts are still under consideration.

- 7.2.4: The height H for outdoor installations shall be at least $H = N$ + 2 600 mm, with a minimum of 2 800 mm (Finland)
- 7.2.6: The height of the external fence shall be at least 2 000 mm. The local conditions of snow shall be taken into account (Finland)
- 7.2.6: The height of the external fence shall be at least 2 500 mm (Australia)
- 7.2.6: 50 mm × 200 mm mesh is not accepted (Australia)
- 7.2.6: Guidance regarding fence construction can be found at ENA Doc 015 (Australia)
- 7.3: The use of indoor installations of open design is not allowed (Finland)
- 7.3: A rail shall be of not conductive material in the colours yellow/black behind (cell) doors and openings wider than 0,5 m (Norway)
- 7.3: Rails, chains and ropes are not allowed as obstacle (Sweden)
- 7.4.1: Outside closed electrical operation areas equipment and cables shall either be constructed with an earthed intermediate shield or be protected against unintentional contact by placing out of reach. With an earthed intermediate shield, a metal enclosure for equipment or a screen for cables are understood (Sweden)
- 7.5.4: Gangways longer than 10 m shall be accessible from both ends. Indoor closed restricted access areas with length exceeding 20 m shall be accessible by doors from both ends (See IEC 60364-7-729) (Sweden)
- 7.5.8: Installations that are difficult to evacuate like Installations in underground, in mountains, wind-power stations e.g. special conditions shall be imposed to secure safe evacuation in case of fire or accident (Norway)
- 7.7: The minimum height H' of live parts above surfaces accessible to the general public shall be:

  - H' = 5 500 mm for rated voltages U_m up to 24 kV

  - H' = N + 5 300 mm for rated voltages U_m above 24 kV (Finland)
- 8.2: Exposed conductive parts shall be earthed. Also extraneous conductive parts which by faults, induction, or influence could become live and be a hazard to persons or damage to property shall be earthed (Sweden)
- 8.2.1.2: The minimum height of protective barriers is 2 300 mm (Finland)
- 8.2.1.2: Rails, chains and ropes are not allowed as obstacles (Sweden)
- 8.2.2.1: Outside closed electrical operation areas equipment and cables shall either be constructed with an earthed intermediate shield or be protected against unintentional contact by placing out of reach. With an earthed intermediate shield, a metal enclosure for equipment or a screen for cables are understood (Sweden)
- 8.2.2.2: Rails, chains and ropes are not allowed as obstacles (Sweden)
- 8.2.2.2: The use of protective method obstacles is not allowed in electrical installations of buildings. The use of protective method placing out of reach is restricted only to situations where the use of insulation or enclosures or barriers is not practicable (Finland)
- 8.7.1: Fire rating of barriers must be a minimum fire rating of 120 minutes (Australia)
- 8.7.2: The dimensions *G*1 and *G*2 are to be measured from the inside edge wall of any bund wall rather than the measured point shown in Figure 7a) and 7b) from the transformer where the bund wall is wider than the transformer (Australia)
- 8.7.2.1: For transformers with below 1000 l special conditions are listed in FEF 2006 §4-9 (Norway)
- 8.8.1.3: Spill containment should extend by 50 % of the height of the transformer (Australia)
- 8.9.1: Warning signs, markings and identifications shall be in Norwegian and special cases additional marking in other language (Norway)
- 10.2.1 and Annex B: Health & Safety Executive (HSE) has advised that HV earthing systems should be designed according to tolerable voltages based on body impedances not exceeded by 5% of the population, as given in Table 1 of IEC60479-1:2005 (UK)
- 10.2.1: Permissible touch and step voltages in power installations shall be in accordance with the Federal law concerning electrical installations (High and low voltage) (SR 734.0) and the Regulations for electrical power installations (SR 743.2 StV) (Switzerland)
- Figure 1: Rails, chains and ropes are not allowed as obstacles (Sweden)
- Figure 7a): The dimensions G1 and G2 are to be measured from the inside edge wall of any bund wall rather than the measured point shown in Figure 7a) from the transformer where the bund wall is wider than the transformer (Australia)
- Figure 7b): The dimensions G1 and G2 are to be measured from the inside edge wall of any bund wall rather than the measured point shown in Figure 7b) from the transformer where the bund wall is wider than the transformer (Australia)
- Clause 10: For requirements regarding earthing refer to AS 2067, Substations and High Voltage Installations (Australia)

The contents of the corrigendum of March 2011 have been included in this copy.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

There are many national laws, standards and internal rules dealing with the matter coming within the scope of this standard and these practices have been taken as a basis for this work.

This part of IEC 61936 contains the minimum requirements valid for IEC countries and some additional information which ensures an acceptable reliability of an installation and its safe operation.

The publication of this standard is believed to be a decisive step towards the gradual alignment all over the world of the practices concerning the design and erection of high voltage power installations.

Particular requirements for transmission and distribution installations as well as particular requirements for power generation and industrial installations are included in this standard.

The relevant laws or regulations of an authority having jurisdiction takes precedence.

POWER INSTALLATIONS EXCEEDING 1 kV AC –

Part 1: Common rules

1 Scope

This part of IEC 61936 provides common rules for the design and the erection of electrical power installations in systems with nominal voltages above 1 kV a.c. and nominal frequency up to and including 60 Hz, so as to provide safety and proper functioning for the use intended.

For the purpose of interpreting this standard, an electrical power installation is considered to be one of the following:

a) Substation, including substation for railway power supply

b) Electrical installations on mast, pole and tower

   Switchgear and/or transformers located outside a closed electrical operating area

c) One (or more) power station(s) located on a single site

   The installation includes generators and transformers with all associated switchgear and all electrical auxiliary systems. Connections between generating stations located on different sites are excluded.

d) The electrical system of a factory, industrial plant or other industrial, agricultural, commercial or public premises

e) Electrical installations erected on offshore platforms e.g. offshore wind power farms.

The electrical power installation includes, among others, the following equipment:

– rotating electrical machines;
– switchgear;
– transformers and reactors;
– converters;
– cables;
– wiring systems;
– batteries;
– capacitors;
– earthing systems;
– buildings and fences which are part of a closed electrical operating area;
– associated protection, control and auxiliary systems;
– large air core reactor.

NOTE In general, a standard for an item of equipment takes precedence over this standard.

This standard does not apply to the design and erection of any of the following:

– overhead and underground lines between separate installations;
– electric railways;
– mining equipment and installations;
– fluorescent lamp installations;
– installations on ships according to IEC 60092 [34] series and offshore units according to IEC 61892 [35] series, which are used in the offshore petroleum industry for drilling, processing and storage purposes.

– electrostatic equipment (e.g. electrostatic precipitators, spray-painting units);

– test sites;

– medical equipment, e.g. medical X-ray equipment.

This standard does not apply to the design of prefabricated, type-tested switchgear and high voltage/low voltage prefabricated substation, for which separate IEC standards exist.

This standard does not apply to the requirements for carrying out live working on electrical installations.

If not otherwise required in this standard, for low-voltage electrical installations the standard series IEC 60364 applies.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60034-1, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*

IEC 60034-3, *Rotating electrical machines – Part 3: Specific requirements for synchronous generators driven by steam turbines or combustion gas turbines*

IEC 60060-1, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60071-1, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60071-2:1996, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide*

IEC 60076-2:1993, *Power transformers – Part 2: Temperature rise*

IEC 60076-11, *Power transformers – Part 11: Dry-type transformers*

IEC 60079-0, *Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements*

IEC 60079-10-1, *Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres*

IEC 60079-10-2, *Explosives atmospheres – Part 10-2: Classification of areas – Combustible dust atmospheres*

IEC 60255 (all parts), *Measuring relays and protection equipment*

IEC 60331-21, *Tests for electric cables under fire conditions – Circuit integrity – Part 21: Procedures and requirements – Cables of rated voltage up to and including 0,6/1,0 kV*

IEC 60331-1, *Tests for electric cables under fire conditions – Circuit integrity – Part 1: Test method for fire with shock at a temperature of at least 830 °C for cables of rated voltage up to and including 0,6/1,0 kV and with an overall diameter exceeding 20 mm*

IEC 60332 (all parts), *Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions*

IEC 60364 (all parts), *Low-voltage electrical installations*

IEC/TS 60479-1:2005, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects*

IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC 60617, *Graphical symbols for diagrams*

IEC 60721-2-6, *Classification of environmental conditions – Part 2-6: Environmental conditions appearing in nature – Earthquake vibration and shock*

IEC 60721-2-7, *Classification of environmental conditions – Part 2-7: Environmental conditions appearing in nature. Fauna and flora*

IEC 60754-1, *Test on gases evolved during combustion of materials from cables – Part 1: Determination of the amount of halogen acid gas*

IEC 60754-2, *Test on gases evolved during combustion of electric cables – Part 2: Determination of degree of acidity of gases evolved during the combustion of materials taken from electric cables by measuring pH and conductivity*

IEC/TS 60815-1, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 1: Definitions, information and general principles*

IEC 60826, *Design criteria of overhead transmission lines*

IEC 60865-1, *Short-circuit currents – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods*

IEC 60909 (all parts), *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems*

IEC 60949, *Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects*

IEC/TR 61000-5-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 2: Earthing and cabling*

IEC 61034-1, *Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 1: Test apparatus*

IEC 61082-1, *Preparation of documents used in electrotechnology – Part 1: Rules*

IEC 61100, *Classification of insulating liquids according of fire-point and net calorific value*

IEC 61140, *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment*

IEC 61219, *Live working – Earthing or earthing and short-circuiting equipment using lances as a short-circuiting device – Lance earthing*

IEC 61230, *Live working – Portable equipment for earthing or earthing and short-circuiting*

IEC 61243 (all parts), *Live working – Voltage detectors*

IEC/TS 61463, *Bushings – Seismic qualification*

IEC 62271-1:2007, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications* Amendment 1:2011

IEC 62271-200, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*

IEC 62271-201, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 201: AC insulation-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*

IEC 62271-202, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 202: High-voltage/low-voltage prefabricated substation*

IEC 62271-203, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 203: Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV*

IEC 62271-206, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 206: Voltage presence indicating systems for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*

IEC 62271-207, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 207: Seismic qualification for gas-insulated switchgear assemblies for rated voltages above 52 kV*

IEC/TR 62271-300, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 300: Seismic qualification of alternating current circuit-breakers*

IEC/TR 62271-303, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 303: Use and handling of sulphur hexafluoride (SF_6)*

IEC 62305 (all parts), *Protection against lightning*

IEC 62305-4, *Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures*

IEC 82079-1, *Preparation of instructions for use – Structuring, content and presentation – Part 1: General principles and detailed requirements*

IEC Guide 107, *Electromagnetic compatibility – Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications*

ISO/IEC Guide 51, *Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards*

ISO 1996-1, *Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 1: Basic quantities and assessment-procedures*

IEEE 80, *Guide for safety in AC substation grounding*

IEEE 980, *Guide for containment and control of oil spills in substations*

Official Journal of the European Communities, No. C 62/23 dated 28.2.1994: *Interpretative document, Essential requirements No. 2, "safety in case of fire"*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following definitions apply.

3.1 General definitions

3.1.1
electrical equipment
item used for such purposes as generation, conversion, transmission, distribution or utilization of electric energy, such as electric machines, transformers, switchgear and controlgear, measuring instruments, protective devices, wiring systems, current-using equipment

[IEC 60050-826:2004, 826-16-01]

3.1.2
nominal value
value of a quantity used to designate and identify a component, device, equipment or system

[IEC 60050-151:2001, 151-16-09]

3.1.3
nominal voltage of a system
suitable approximate value of voltage used to designate or identify a system

[IEC 60050-601:1985, 601-01-21]

3.1.4
rated value
value of a quantity used for specification purposes, established for a specified set of operating conditions of a component, device, equipment, or system

[IEC 60050-151:2001, 151-16-08]

3.1.5
highest voltage for installation
highest r.m.s value of phase-to-phase voltage for which the installation is designed in respect of its insulation

3.1.6
tested connection zone
zone in the vicinity of equipment terminals which has passed a dielectric type test with the appropriate withstand value(s), the applicable conductors being connected to the terminals in a manner specified by the manufacturer of the equipment

3.1.7
isolating distance
clearance between open contacts meeting the safety requirements specified for disconnectors

[IEC 60050-441:1984, 441-17-35]

3.1.8
isolation
switching off or disconnection of an installation, a part of an installation or an equipment from all non-earthed conductors by creating isolating gaps or distances

3.1.9
live part
conductor or conductive part intended to be energized in normal operation, including a neutral conductor, but by convention not a PEN conductor or PEM conductor or PEL conductor

[IEC 60050-195:1998, 195-02-19]

NOTE 1 This concept does not necessarily imply a risk of electric shock.

NOTE 2 For definitions of PEM and PEL see IEC 60050-195:1998, 195-02-13 and IEC 60050-195:1998, 195-02-14.

3.1.10
feeder
electric line originating at a main substation and supplying one or more secondary substations, or one or more branch lines, or any combination of these two types of installations

[IEC 60050-601:1985, 601-02-08, modified]

3.1.11
ferro-resonance
resonance of the capacitance of an apparatus with the inductance of the saturable magnetic circuit of an adjacent apparatus

[IEC 60050-604:1987, 604-01-14]

3.1.12
transient overvoltage
short duration overvoltage of a few milliseconds, or less, oscillatory or non-oscillatory, usually highly damped

[IEC 60050-604, Amendment 1:1998, 604-03-13]

3.1.13
high voltage
voltage exceeding 1 000 V a.c.

3.1.14
low voltage
voltage not exceeding 1 000 V a.c.

3.1.15
operation
all activities, including both electrical and non-electrical work activities, necessary to permit the power installation to function

NOTE These activities include switching, controlling, monitoring and maintenance.

3.1.16
normal conditions of operation
all operating conditions frequently encountered

NOTE These include rated operating conditions, maximum and minimum operating conditions, partial load, normal transients (start-up, shut-down, load changes) standby situations.

3.1.17
abnormal conditions of operation
operating conditions of low occurrence (typical only a few times during equipment lifetime)

NOTE These include human errors, loss of power supply, overvoltages, earthquake, etc. After such a condition has occurred, equipment inspection may be required.

3.1.18
electrical work
work on, with or near an power installation such as testing and measurement, repairing, replacing, modifying, extending, erection and inspection

3.2 Definitions concerning installations

3.2.1
closed electrical operating area
room or location for operation of electrical installations and equipment to which access is intended to be restricted to skilled or instructed persons or to lay personnel under the supervision of skilled or instructed persons, e.g. by opening of a door or removal of protective barrier only by the use of a key or tool, and which is clearly marked by appropriate warning signs

3.2.2
operating areas subject to fire hazard
rooms, areas or locations, indoors or outdoors, where there is a danger, due to local or operating conditions, that hazardous quantities of easily flammable materials may come so close to the electrical equipment as to cause a fire hazard resulting from the high temperature of the equipment or due to arcing

3.2.3
sump
receptacle which is intended to receive the insulating liquid of a transformer or other equipment in case of leakage

[IEC 60050-605:1983, 605-02-30, modified]

3.2.4
catchment tank
collecting tank for the leakage liquids, rain water, etc. for one or more transformers or other equipment

3.2.5
busbar
conductor with associated connections, joints and insulated supports forming a common electrical connection between a number of circuits or individual pieces of apparatus

3.3 Definitions concerning types of installations

3.3.1
substation
part of a power system, concentrated in a given place, including mainly the terminations of transmission or distribution lines, switchgear and housing and which may also include transformers. It generally includes facilities necessary for system security and control (e.g. the protective devices).

NOTE According to the nature of the system within which the substation is included, a prefix may qualify it.

EXAMPLE Transmission substation (of a transmission system), distribution substation, 400 kV substation, 20 kV substation.

[IEC 60050-605:1983, 605-01-01]

3.3.2
power station
installation whose purpose is to generate electricity and which includes civil engineering works, energy conversion equipment and all the necessary ancillary equipment.

[IEC 60050-602:1983, 602-01-01]

3.3.3
installations of open design
installations where the equipment does not have protection against direct contact

3.3.4
installations of enclosed design
installations where the equipment has protection against direct contact

NOTE For degrees of enclosure protection see IEC 60529.

3.3.5
switchgear 'bay' or 'cubicle'
each branch of a busbar in an installation

3.4 Definitions concerning safety measures against electric shock

3.4.1
protection against direct contact
measures which prevent persons coming into hazardous proximity to live parts or those parts which could carry a hazardous voltage, with parts of their bodies or objects (reaching the danger zone)

3.4.2
protection in case of indirect contact
protection of persons from hazards which could arise, in event of fault, from contact with exposed conductive parts of electrical equipment or extraneous conductive parts

3.4.3
enclosure
part providing protection of equipment against certain external influences and, in any direction, protection against direct contact

3.4.4
protective barrier
part providing protection against direct contact from any usual direction of access

[IEC 60050-195:1998, 195-06-15]

3.4.5
protective obstacle
part preventing unintentional direct contact, but not preventing direct contact by deliberate action

[IEC 60050-195:1998, 195-06-16]

3.5 Definitions concerning clearances

3.5.1
clearance
distance between two conductive parts along a string stretched the shortest way between these conductive parts

[IEC 60050-441:1984, 441-17-31]

3.5.2
minimum clearance
smallest permissible clearance in air between live parts or between live parts and earth

3.5.3
protective barrier clearance
smallest permissible clearance between a protective barrier and live parts or those parts which may become subject to a hazardous voltage

3.5.4
protective obstacle clearance
smallest permissible clearance between a protective obstacle and live parts or those parts which may become subject to a hazardous voltage

3.5.5
danger zone
area limited by the minimum clearance (D_L) around live parts without complete protection against direct contact (see Figure 3)

NOTE Infringing the danger zone is considered the same as touching live parts.

3.5.6
vicinity zone
zone surrounding a danger zone, the outer boundary of which is limited by the distance D_V (see Figure 3)

NOTE 1 The outer boundary of the vicinity zone depends upon the voltage of the live part.

NOTE 2 Work in the vicinity zone is considered to be all work where a worker is either inside the zone or reaches into the zone with parts of the body or tools, equipment and devices being handled but does not reach into the danger zone.

3.5.7
working clearance
minimum safe distance (D_W) to be observed between normally exposed live parts and any person working in a substation or any conductive tool directly handled (see Figure 3)

[IEC 60050-605:1983, 605-02-25, modified]

NOTE 1 Values for electrically skilled or instructed persons are given in Figure 3. This refers only to non-live working. Specific definitions related to live working practices are found in IEC 60050-651.

NOTE 2 In Europe the term “minimum working distance” is used instead of “working clearance”.

3.5.8
boundary clearance
smallest permissible clearance between an external fence and live parts or those parts which may become subject to a hazardous voltage

3.5.9
minimum height

smallest permissible vertical clearance between accessible surfaces and live parts without protection against direct contact or those parts which may become subject to a hazardous voltage (see Figure 3)

3.6 Definitions concerning control and protection

3.6.1
interlocking device
device which makes the operation of a switching device dependent upon the position or operation of one or more other pieces of equipment

[IEC 60050-441:1984, 441-16-49]

3.6.2
local control
control of operation from a point on or adjacent to the controlled switching device.

[IEC 60050-441:1984, 441-16-06]

3.6.3
remote control
control of operation at a point distant from the controlled switching device

[IEC 60050-441:1984, 441-16-07]

3.6.4
automatic reclosing
automatic reclosing of a circuit-breaker associated with a faulted section of a network after an interval of time which permits that section to recover from a transient fault

[IEC 60050-604:1987, 604-02-32]

3.7 Definitions concerning earthing

3.7.1
(local) earth
(local) ground
part of the Earth which is in electric contact with an earth electrode and the electric potential of which is not necessarily equal to zero

NOTE The conductive mass of the earth, whose electric potential at any point is conventionally taken as equal to zero.

[IEC 60050-195:1998, 195-01-03, modified]

3.7.2
reference earth
reference ground (remote earth/ground)
part of the Earth considered as conductive, the electric potential of which is conventionally taken as zero, being outside the zone of influence of the relevant earthing arrangement

NOTE The concept “Earth” means the planet and all its physical matter.

[IEC 60050-195:1998, 195-01-01, modified]

3.7.3
earth electrode
ground electrode
conductive part, which may be embedded in a specific conductive medium, e.g. in concrete or coke, in electric contact with the Earth

[IEC 60050-195:1998, 195-02-01]

3.7.4
earthing conductor
grounding conductor
conductor which provides a conductive path, or part of the conductive path, between a given point in a system or in an installation or in equipment and an earth electrode

[IEC 60050-195:1998, 195-02-03]

NOTE Where the connection between part of the installation and the earth electrode is made via a disconnecting link, disconnecting switch, surge arrester counter, surge arrester control gap etc., then only that part of the connection permanently attached to the earth electrode is an earthing conductor.

3.7.5
protective bonding conductor
protective conductor for ensuring equipotential bonding

3.7.6
earthing system
grounding system
arrangement of connections and devices necessary to earth equipment or a system separately or jointly

[IEC 60050-604:1987, 604-04-02]

3.7.7
earth rod
ground rod
earth electrode consisting of a metal rod driven into the ground

[IEC 60050-604:1987, 604-04-09]

3.7.8
structural earth electrode
metal part, which is in conductive contact with the earth or with water directly or via concrete, whose original purpose is not earthing, but which fulfils all requirements of an earth electrode without impairment of the original purpose

NOTE Examples of structural earth electrodes are pipelines, sheet piling, concrete reinforcement bars in foundations and the steel structure of buildings, etc.

3.7.9
electric resistivity of soil
ρ_E
resistivity of a typical sample of soil

3.7.10
resistance to earth
R_E
real part of the impedance to earth

3.7.11
impedance to earth
Z_E
impedance at a given frequency between a specified point in a system or in an installation or in equipment and reference earth

NOTE The impedance to earth is determined by the directly connected earth electrodes and also by connected overhead earth wires and wires buried in earth of overhead lines, by connected cables with earth electrode effect and by other earthing systems which are conductively connected to the relevant earthing system by conductive cable sheaths, shields, PEN conductors or in another way.

3.7.12
earth potential rise
EPR
U_E
voltage between an earthing system and reference earth

3.7.13
potential
voltage between an observation point and reference earth

3.7.14
(effective) touch voltage
U_T
voltage between conductive parts when touched simultaneously

NOTE The value of the effective touch voltage may be appreciably influenced by the impedance of the person in electric contact with these conductive parts.

[IEC 60050-195:1998, 195-05-11, modified]

3.7.15
prospective touch voltage
U_{vT}
voltage between simultaneously accessible conductive parts when those conductive parts are not being touched

[IEC 60050-195:1998, 195-05-09, modified]

3.7.16
step voltage
U_S
voltage between two points on the Earth's surface that are 1 m distant from each other, which is considered to be the stride length of a person

[IEC 60050-195:1998, 195-05-12]

3.7.17
transferred potential
potential rise of an earthing system caused by a current to earth transferred by means of a connected conductor (for example a metallic cable sheath, PEN conductor, pipeline, rail) into areas with low or no potential rise relative to reference earth, resulting in a potential difference occurring between the conductor and its surroundings

NOTE The definition also applies where a conductor, which is connected to reference earth, leads into the area of the potential rise.

3.7.18
stress voltage
voltage appearing during earth fault conditions between an earthed part or enclosure of equipment or device and any other of its parts and which could affect its normal operation or safety

3.7.19
global earthing system
equivalent earthing system created by the interconnection of local earthing systems that ensures, by the proximity of the earthing systems, that there are no dangerous touch voltages

NOTE 1 Such systems permit the division of the earth fault current in a way that results in a reduction of the earth potential rise at the local earthing system. Such a system could be said to form a quasi equipotential surface.

NOTE 2 The existence of a global earthing system may be determined by sample measurements or calculation for typical systems. Typical examples of global earthing systems are in city centres; urban or industrial areas with distributed low- and high-voltage earthing.

3.7.20
multi-earthed (multi-grounded) HV neutral conductor
neutral conductor of a distribution line connected to the earthing system of the source transformer and regularly earthed

3.7.21
exposed-conductive-part
conductive part of equipment which can be touched and which is not normally live, but which can become live when basic insulation fails

[IEC 60050-826:2004, 826-12-10]

3.7.22
extraneous-conductive-part
conductive part not forming part of the electrical installation and liable to introduce an electric potential, generally the electric potential of a local earth

[IEC 60050-826:2004, 826-12-11, modified]

3.7.23
PEN conductor
conductor combining the functions of both protective earthing conductor and neutral conductor

[IEC 60050-826:2004, 826-13-25]

3.7.24
earth/ground fault
fault caused by a conductor being connected to earth or by the insulation resistance to earth becoming less than a specified value

[IEC 60050-151:1978[2], 151-03-40]

NOTE Earth faults of two or several phase conductors of the same system at different locations are designated as double or multiple earth faults.

3.7.25
earth fault current
I_F
current which flows from the main circuit to earth or earthed parts at the fault location (earth fault location)

NOTE 1 For single earth faults, this is

- in systems with isolated neutral, the capacitive earth fault current,
- in systems with high resistive earthing, the RC composed earth fault current,
- in systems with resonant earthing, the earth fault residual current,
- in systems with solid or low impedance neutral earthing, the line-to-earth short-circuit current.

NOTE 2 Further earth fault current may result from double earth fault and line to line to earth

3.7.26
circulating transformer neutral current
portion of fault current which flows back to the transformer neutral point via the metallic parts and/or the earthing system without ever discharging into soil

---

2 IEC 60050-151:1978 has been replaced in 2001, but for this definition (151-03-40) the 1978 publication is applicable.

4 Fundamental requirements

4.1 General

4.1.1 General requirements

Installations and equipment shall be capable of withstanding electrical, mechanical, climatic and environmental influences anticipated on site.

The design shall take into account:

– the purpose of the installation,

– the users requirements such as power quality, reliability, availability, and ability of the electrical network to withstand the effects of transient conditions such as starting of large motors, short power outages and re-energization of the installation.

– the safety of the operators and the public,

– the environmental influence,

– the possibility for extension (if required) and maintenance.

The user shall define preferences for specific maintenance features and identify the safety requirements to be met for levels of segregation of the switchgear and controlgear to ensure minimal plant shutdown. Where necessary, the levels of segregation of switchgear shall be such as to minimize the spread of a fault, including a fire, occurring in any defined module into adjacent modules.

There are operating conditions of low occurrence or low cumulative duration which can occur and for which specific design criteria may be agreed between the user and the manufacturer. In such cases, measures required to prevent unsafe conditions and to avoid damage to electrical or plant equipment shall be taken.

The generators shall be capable of meeting the requirements for connection to the power system grid or local grid, e.g. for voltage regulation, frequency response, etc.

4.1.2 Agreements between supplier (manufacturer) and user

The working procedures of the user shall be taken into account in the design of the installation.

For design and erection of power installations, additional agreements between manufacturer/ contractor/planner and user/orderer/owner shall be followed, which also may have effects to necessary operational requirements. References can be found in the following subclauses:

Subclause	Item
4.1.1	General requirements (specific design criteria)
4.2.2	Voltage classification
4.3.9	Special conditions and requirements for seismic environment
4.4.2.1	Climatic and environmental conditions (for auxiliary equipment: indoor)
4.4.2.2	Climatic and environmental conditions (for auxiliary equipment: outdoor)
4.4.3.1	Conditions different from the normal environmental conditions
4.4.3.5	Special conditions and requirements for vibrations
6.1.2	Compliance with operational and safety procedures
6.2.1	Method of indication (contact position of interrupting or isolating equipment)
6.2.1	Interlocks and/or locking facilities
6.2.1	Switching devices (reduced rating)
6.2.1	Rating of switchgear (specific requirements)
6.2.8	Level of pollution

Subclause	Item
6.2.8	Outdoor insulators in polluted or heavy wetting conditions
6.2.9.1	Insulated cables (temperature rise)
7.1	Higher values for distances, clearances and dimensions
7.1	Installations (operating procedures)
7.1.2	Documentation (extent of the documentation)
7.1.3	Transport routes (load capacity, height and width)
7.1.5	Lighting (presence and extent of the lighting)
7.5.4	Maintenance and operating areas (distances of the escape route)
8.4	Means to protect persons working on electrical installations (working procedures)
8.4.3	Devices for determining the de-energized state (extent of provisions)
8.4.4	Devices for earthing and short-circuiting (Extent of provision or supply)
8.4.5.1	Equipment acting as protective barriers against adjacent live parts (extent of Insertable insulated partitions)
8.4.5.2	Equipment acting as protective barriers against adjacent live parts (extent of insertable partition walls)
8.5	Protection from danger resulting from arc fault (degree of importance of measures)
8.6	Protections against direct lightning strokes (method of analysis)
8.7.1	Requirements for fire extinguishing equipment
8.7.2.1	Reduction of distances G_1/G_2
9.1	Monitoring and control systems (agreement of fault level and protection grading studies)
9.3	Compressed air system (sectionalization for maintenance)
9.4	SF_6 gas handling plants (design and capacity of the plant)
10.2.1	Fundamental requirements for design of the earthing system
11	Inspection and testing (extent of the inspection and testing / specification / documentation)
11.3	Tests during installation and commissioning (requirements / test equipment / schedule of tests)
11.4	Trial running (performance)

4.2 Electrical requirements

4.2.1 Methods of neutral earthing

The method of neutral earthing strongly influences the fault current level and the fault current duration. Furthermore the neutral earthing method is important with regard to the following:

– selection of insulation level;
– characteristics of overvoltage - limiting devices - such as spark gaps or surge arresters;
– selection of protective relays;
– design of earthing system.

The following are examples of neutral earthing methods:

– isolated neutral;
– resonant earthing;
– high resistive earthing;
– solid (low impedance) earthing.

The choice of the type of neutral earthing is normally based on the following criteria:

– local regulations (if any);

– continuity of supply required for the network;
– limitation of damage to equipment caused by earth faults;
– selective elimination of faulty sections of the network;
– detection of fault location;
– touch and step voltages;
– inductive interference;
– operation and maintenance aspects.

One galvanically connected system has only one method of neutral earthing. Different galvanically independent systems may have different methods of neutral earthing. If different neutral earthing configurations can occur during normal or abnormal operating conditions, equipment and protective system shall be designed to operate under these conditions.

4.2.2 Voltage classification

The users shall define the nominal voltage and the maximum operating voltage of their system. Based on the maximum operating voltage, the highest voltage for installation (U_m) shall be selected either from Table 1, Table 2 or Annex A.

4.2.3 Current in normal operation

Every part of an installation shall be designed and constructed to withstand currents under defined operating conditions.

4.2.4 Short-circuit current

Installations shall be designed, constructed and erected to safely withstand the mechanical and thermal effects resulting from short-circuit currents.

NOTE 1 Where an installation has on-site generation, motors or parallel operation with a network (co-generation), fault levels can increase.

For the purpose of this standard all types of short-circuit shall be considered, e.g.:

– three-phase;
– phase-to-phase;
– phase-to-earth;
– double phase-to-earth.

Installations shall be protected with automatic devices to disconnect three-phase and phase-to-phase short-circuits.

Installations shall be protected either with automatic devices to disconnect earth faults or to indicate the earth fault condition. The selection of the device is dependent upon the method of neutral earthing.

The standard value of rated duration of the short-circuit is 1,0 s.

NOTE 2 If a value other than 1 s is appropriate, recommended values would be 0,5 s, 2,0 s and 3,0 s.

NOTE 3 The rated duration should be determined taking into consideration the fault switching time.

Methods for the calculation of short-circuit currents in three-phase a.c. systems are given in the IEC 60909 series.

Methods for the calculation of the effects of short-circuit current are given in IEC 60865-1 and, for power cables, in IEC 60949.

4.2.5 Rated frequency

Installations shall be designed for the rated frequency of the system in which they shall operate.

4.2.6 Corona

The design of installations shall be such that radio interference due to electromagnetic fields, e.g. caused by corona effects, will not exceed a specified level.

NOTE 1 Recommendations for minimizing the radio interference of high-voltage installations are reported in CISPR 18-1, CISPR 18-2 and CISPR 18-3 [1],[2],[3][3].

NOTE 2 Maximum permissible levels of radio interference may be given by national or local authorities.

NOTE 3 Guidance on acceptable levels of radio interference voltage for switchgear and controlgear can be found in IEC 62271-1:2007.

When the acceptable value is exceeded, the corona level may be controlled, for example, by the installation of corona rings or the recessing of fasteners on bus fittings for high-voltage suspension insulator assemblies, bus support assemblies, bus connections and equipment terminals.

4.2.7 Electric and magnetic fields

The design of an installation shall be such as to limit the electric and magnetic fields generated by energized equipment to an acceptable level for exposed people.

NOTE National and/or international regulations may specify acceptable levels. Further information is available from International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) or IEEE.

4.2.8 Overvoltages

Equipment shall be protected against overvoltages resulting from switching operations or lightning that could exceed the withstand values according to IEC 60071-1 and 60071-2.

4.2.9 Harmonics

Consideration should be given to the effect of harmonic currents and harmonic voltages on the installation, e.g. in industrial installations. Harmonic analyses may be required to determine what corrective measures are needed to meet local regulations and/or to ensure correct operation of the whole electrical system.

4.3 Mechanical requirements

4.3.1 Equipment and supporting structures

Equipment and supporting structures, including their foundations, shall withstand the anticipated mechanical stresses.

Two load cases shall be considered, normal and exceptional. In each of these load cases, several combinations shall be investigated, the most unfavourable of which shall be used to determine the mechanical strength of the structures.

In the normal load case, the following loads shall be considered:

– dead load;

– tension load;

---

[3] Figures in square brackets refer to the bibliography.

– erection load;
– ice load;
– wind load.

Consideration shall be given to temporary stresses and loads that may be applied during construction or maintenance procedures. Specific equipment can be affected by cyclic loads (refer to specific equipment standards).

In the exceptional load case, dead load and tension load acting simultaneously with the largest of the following occasional loads shall be considered:

– switching forces;
– short-circuit forces;
– loss of conductor tension
– seismic loads.

4.3.2 Tension load

The tension load shall be calculated from the maximum conductor tension under the most unfavourable local conditions.

Possible combinations include, for example:

- –20 °C without ice and without wind;
- –5 °C with ice and without wind;
- +5 °C with wind.

4.3.3 Erection load

The erection load is a load of at least 1,0 kN applied at the most critical position of a supporting structure, tensioning portal, etc.

4.3.4 Ice load

In regions where icing can occur, the resulting load on flexible conductors and on rigid busbars and conductors shall be taken into account.

If local experience or statistics are not available, ice coatings of 1 mm, 10 mm or 20 mm based on criteria given in IEC 62271-1:2007 may be assumed. The density of the ice is assumed to be 900 kg/m^3 in accordance with IEC 60826.

4.3.5 Wind load

Wind loads, which can be very different depending on the local topographic influences and the height of the structures above the surrounding ground, shall be taken into account. The most unfavourable wind direction shall be considered.

IEC 62271-1:2007 contains requirements for wind loading on switchgear and controlgear.

4.3.6 Switching forces

Switching forces shall be considered when designing supports. The forces shall be determined by the designer of the equipment.

4.3.7 Short-circuit forces

The mechanical effects of a short-circuit can be estimated by the methods detailed in IEC 60865-1.

NOTE The CIGRÉ technical brochure "Mechanical effects of short-circuit currents in open air substations" gives additional advice.

4.3.8 Loss of conductor tension

A structure with tension insulator strings shall be designed to withstand the loss of conductor tension resulting from breakage of the insulator or conductor which gives the most unfavourable load case.

NOTE 1 General practice is to base the calculation on 0 °C, no ice and no wind load.

NOTE 2 For bundle conductors, only one subconductor is assumed to fail.

4.3.9 Seismic loads

Special conditions and requirements shall be agreed between user and supplier. (See also 4.4.3.5 Vibration).

Installations situated in a seismic environment shall be designed to take this into account.

Where load specifications apply to the installation of civil work or equipment to meet seismic conditions, then these specifications shall be observed.

Seismic loads shall be dealt with in accordance with appropriate standards for power installations: e.g. IEC 62271-207 for GIS, IEC/TR 62271-300 for circuit-breakers and IEC/TS 61463 for bushings.

The following measures shall be taken into account:

a) Any individual equipment shall be designed to withstand the dynamic forces resulting from the vertical and horizontal motions of the soil. These effects may be modified by the response of the foundation and/or the supporting frame and/or the floor in which this equipment is installed. The response spectrum of the earthquake shall be considered for the design of the equipment.
b) The layout shall be chosen in order to limit the loads due to interconnections between adjoining devices needing to accommodate large relatively axial, lateral, torsional or other movements to acceptable values. Attention should be paid to other stresses which may develop during an earthquake.

4.3.10 Dimensioning of supporting structures

The dimensioning of supporting structures shall be in accordance with applicable codes and standards. Security factors are given in national rules.

4.4 Climatic and environmental conditions

4.4.1 General

Installations, including all devices and auxiliary equipment which form an integral part of them, shall be designed for operation under the climatic and environmental conditions listed below.

The presence of condensation, precipitation, particles, dust, corrosive elements and hazardous atmospheres shall be specified in such a manner that appropriate electrical equipment can be selected. Zone classification for hazardous areas shall be performed in accordance with IEC 60079-10-1 and IEC 60079-10-2. Equipment can be selected according to IEC 60721 series.

4.4.2 Normal conditions

4.4.2.1 Indoor

a) The ambient air temperature does not exceed 40 °C and its average value, measured over a period of 24 h, does not exceed 35 °C.

The minimum ambient air temperatures are:

- –5 °C for class “–5 indoor”,
- –15 °C for class “–15 indoor” and
- –25 °C for class “–25 indoor”.

On auxiliary equipment, such as relays and control switches, intended to be used in ambient air temperature below –5 °C, an agreement between supplier and user is necessary.

b) The influence of solar radiation may be neglected.

c) The altitude does not exceed 1 000 m above sea level.

d) The ambient air is not significantly polluted by dust, smoke, corrosive and/or flammable gases, vapours or salt.

e) The average value of the relative humidity, measured over a period of 24 h, does not exceed 95 %.

For these conditions condensation may occasionally occur.

NOTE 1 Condensation can be expected where sudden temperature changes occur in periods of high humidity.

NOTE 2 To avoid breakdown of insulation and/or corrosion of metallic parts due to high humidity and condensation, equipment designed for such conditions and tested accordingly should be used.

NOTE 3 Condensation may be prevented by special design of the building or housing, by suitable ventilation and heating of the station or by the use of dehumidifying equipment.

f) Vibration due to causes external to the equipment or to earth tremors is negligible.

g) Electromagnetic disturbances should be considered as described in IEC Guide 107.

4.4.2.2 Outdoor

a) The ambient air temperature does not exceed 40 °C and its average value, measured over a period of 24 h, does not exceed 35 °C.

The minimum ambient air temperatures are:

- –10 °C for class “–10 outdoor”,
- –25 °C for class“–25 outdoor”,
- –30 °C for class “–30 outdoor” and
- –40 °C for class “–40 outdoor”.

Rapid temperature changes should be taken into account.

Auxiliary equipment, such as relays and control switches, intended to be used in ambient air temperatures below –5 °C, shall be the subject of an agreement between supplier and user.

b) Solar radiation up to a level of 1 000 W/m^2 (on a clear day at noon) should be considered.

NOTE 1 Under certain conditions of solar radiation, appropriate measures, for example roofing, forced ventilation, etc., may be necessary, or derating may be used in order not to exceed the specified temperature rises.

NOTE 2 Details of global solar radiation are given in IEC 60721-2-4.

NOTE 3 UV radiation can damage some synthetic materials. For more information, consult the IEC 60068 series.

c) The altitude does not exceed 1 000 m above sea level.

d) The ambient air is not significantly polluted by dust, smoke, corrosive gases, vapours or salt. Pollution does not exceed pollution class c – Medium, according to IEC/TS 60815-1.

e) The ice coating does not exceed 1 mm for class 1, 10 mm for class 10 and 20 mm for class 20. Additional information is given in 4.3.4.

f) The wind speed does not exceed 34 m/s (corresponding to 700 Pa on cylindrical surfaces).

NOTE 4 Characteristics of wind are described in IEC 60721-2-2.

g) Account should be taken of the presence of condensation or precipitation. Precipitation in the form of dew, condensation, fog, rain, snow, ice or hoar frost shall be taken into account.

NOTE 5 Precipitation characteristics for insulation are described in IEC 60060-1 and IEC 60071-1. For other properties, precipitation characteristics are described in IEC 60721-2-2.

h) Vibration due to causes external to the equipment or to earth tremors is negligible.

i) Electromagnetic disturbances should be considered as described in IEC Guide 107.

4.4.3 Special conditions

4.4.3.1 General

When high-voltage equipment is used under conditions different from the normal environmental conditions given in 4.4.2, the user's requirements should refer, for example, to the standardized steps given in the following subclauses.

4.4.3.2 Altitude

For installations situated at an altitude higher than 1 000 m above sea level, the insulation level of external insulation under the standardized reference atmospheric conditions shall be determined by multiplying the insulation withstand voltages required at the service location by a factor K_a in accordance with IEC 62271-1:2007.

NOTE 1 For internal pressurized insulation, the dielectric characteristics are identical at any altitude and no special precautions need be taken.

NOTE 2 For low-voltage auxiliary and control equipment, no special precautions need be taken if the altitude is lower than 2 000 m above sea level. For higher altitudes, see IEC 60664-1.

NOTE 3 The pressure variation due to altitude is given in IEC 60721-2-3. Regarding this phenomenon, particular attention should be devoted to the following points:

– thermal exchanges by convection, conduction or radiation;

– efficiency of heating or air-conditioning;

– operating level of pressure devices;

– efficiency of diesel generating set or compressed air station;

– increase of corona effect.

NOTE 4 The correction factor K_a of IEC 62271-1:2007 reflects the fact that modification is not required for altitudes below 1 000 m.

4.4.3.3 Pollution

For equipment in polluted ambient air, a pollution class d (heavy), or class e (very heavy), as defined in IEC/TS 60815-1, should be specified.

4.4.3.4 Temperature and humidity

For equipment in a place where the ambient temperature can be significantly outside the normal service condition range stated in 4.4.2, the preferred ranges of minimum and maximum temperature to be specified should be as follows:

–50 °C and +40 °C for very cold climates;

–5 °C and +50 °C for very hot climates.

In certain regions with frequent occurrence of warm, humid winds, sudden changes of temperature may occur, resulting in condensation, even indoors.

In tropical indoor conditions, the average value of relative humidity measured during a period of 24 h can be 98 %.

In some underground installations, equipment might be located under water. Such equipment shall be designed accordingly and proper operating procedures defined.

4.4.3.5 Vibration

Special conditions and requirements shall be agreed between user and supplier. (See also 4.3.9 Seismic loads).

Vibration caused by wind, electromagnetic stresses, traffic (e. g. temporary road and railway traffic) and industrial processes shall be considered. The withstand capability of equipment against vibrations shall be given by the manufacturer.

The service stresses of equipment, which may be transmitted through a common monolithic foundation or floor (for example opening/reclosing of circuit-breakers) shall be taken into account.

4.5 Special requirements

4.5.1 Effects of small animals and micro-organisms

If biological activity (through birds, other small animals or micro-organisms) is a hazard, measures against such damage shall be taken. These may include appropriate choice of materials, measure to prevent access and adequate heating and ventilating (for more details see IEC 60721-2-7).

4.5.2 Noise level

If noise level limits are given (usually by administrative authorities), they shall be achieved by appropriate measures such as

– using sound insulation techniques against sound transmitted through air or solids;
– using low noise equipment.

Criteria for noise evaluation for different places and different periods of day are given in ISO 1996-1.

4.5.3 Transport

The transport to site, e.g. large transformers and storage constraints may have consequences on the design of the high-voltage electrical installation.

5 Insulation

5.1 General

As conventional (air insulated) installations are normally not impulse tested, the installation requires minimum clearances between live parts and earth and between live parts of phases in order to avoid flashover below the impulse withstand level selected for the installation.

Insulation coordination shall be in accordance with IEC 60071-1.

5.2 Selection of insulation level

The insulation level shall be chosen according to the established highest voltage for installation U_m and/or impulse withstand voltage.

5.2.1 Consideration of methods of neutral earthing

The choice should be made primarily to ensure reliability in service, taking into account the method of neutral earthing in the system and the characteristics and the locations of overvoltage limiting devices to be installed.

In installations in which a high level of safety is required, or in which the configuration of the system, the adopted method of neutral earthing or the protection by surge arresters make it inappropriate to lower the level of insulation, one of the higher alternative values of Table 1, Table 2 and Annex A shall be chosen.

In installations in which the configuration of the system, the adopted method of neutral earthing or the protection by surge arresters makes it appropriate to lower the level of insulation, the lower alternative values of Table 1, Table 2 and Annex A are sufficient.

5.2.2 Consideration of rated withstand voltages

In the voltage range I (1 kV $< U_m \leq$ 245 kV), the choice shall be based on the rated lightning impulse withstand voltages and the rated short-duration power-frequency withstand voltages of Table 1; in the voltage range II ($U_m >$ 245 kV) the choice shall be based on the rated switching impulse withstand voltages and the rated lightning impulse withstand voltages given in Table 2. Values of rated insulation levels not standardized by IEC but based on current practice in some countries are listed in Annex A (Tables A.1, A.2 and A.3).

5.3 Verification of withstand values

If the minimum clearances in air given in Table 1, Table 2 and Annex A are maintained, it is not necessary to apply dielectric tests.

If the minimum clearances in air are not maintained, the ability to withstand the test voltages of the chosen insulation level shall be established by applying the appropriate dielectric tests in accordance with IEC 60060-1 for the withstand voltage values given in Table 1, Table 2 and Annex A.

If the minimum clearances in air are not maintained in parts or areas of an installation, dielectric tests restricted to these parts or areas will be sufficient.

NOTE In accordance with IEC 60071-2:1996, Annex A, minimum clearances may be lower if this has been proven by tests or by operating experience of lower overvoltages.

5.4 Minimum clearances of live parts

5.4.1 General

The minimum clearances in air given in Table 1, Table 2 and Annex A apply for altitudes up to 1 000 m above sea level. For higher altitudes, see 4.4.3.2.

NOTE Some values of minimum clearances are designated as "N". This is a symbol for those minimum clearances on which safety distances as given in 7 are based.

If parts of an installation can be separated from each other by a disconnector, these parts shall be tested at the rated impulse withstand voltage for the isolating distance (see Tables 1a and 1b as well as Tables 2a and 2b of IEC 62271-1:2007, Amendment 1:2011). If between such parts of an installation the minimum clearances of Table 1 for range I, respectively the

minimum phase-to-phase clearances of Table 2 for range II are increased by 25 % or more, it is not necessary to apply dielectric tests.

5.4.2 Minimum clearances in voltage range I

In the voltage range I (see Table 1) the minimum clearances in air are based on unfavourable electrode configurations with small radii of curvature (i.e. rod-plate). As the rated lightning impulse withstand voltage (LIWV) in these voltage ranges is the same as for the phase-phase insulation and phase-earth insulation, the clearances apply for both insulation distances.

5.4.3 Minimum clearances in voltage range II

In voltage range II (see Table 2) the clearances in air are determined by the rated switching impulse withstand voltage (SIWV). They substantially depend on the electrode configurations. In cases of difficulty in classifying the electrode configuration, it is recommended to make a choice based on the phase-to-earth clearances of the most unfavourable configuration such as, for example, the arm of an isolator against the tower construction (rod-structure).

Table 1 – Minimum clearances in air – Voltage range I
(1 kV < U_m ≤ 245 kV)

Voltage range	Highest voltage for installation	Rated short-duration power-frequency withstand voltage	Rated lightning impulse withstand voltage [a]	Minimum phase-to-earth and phase-to-phase clearance N	
	U_m r.m.s.	U_d r.m.s.	U_p 1,2/50 μs (peak value)	Indoor installations	Outdoor installations
	kV	kV	kV	mm	mm
I	3,6	10	20	60	120
			40	60	120
	7,2	20	40	60	120
			60	90	120
	12	28	60	90	150
			75	120	150
			95	160	160
	17,5	38	75	120	160
			95	160	160
	24	50	95	160	
			125	220	
			145	270	
	36	70	145	270	
			170	320	
	52	95	250	480	
	72,5	140	325	630	
	123	185 [b]	450 [b]	900	
		230	550	1 100	
	145	185 [b]	450 [b]	900	
		230	550	1 100	
		275	650	1 300	
	170	230 [b]	550 [b]	1 100	
		275	650	1 300	
		325	750	1 500	
	245	275 [b]	650 [b]	1 300	
		325 [b]	750 [b]	1 500	
		360	850	1 700	
		395	950	1 900	
		460	1 050	2 100	

[a] The rated lightning impulse is applicable to phase-to-phase and phase-to-earth.

[b] If values are considered insufficient to prove that the required phase-to-phase withstand voltages are met, additional phase-to-phase withstand tests are needed.

Table 2 – Minimum clearances in air – Voltage range II
(U_m > 245 kV)

Voltage range	Highest voltage for installation	Rated lightning impulse withstand voltage [a]	Rated switching impulse withstand voltage	Minimum phase-to-earth clearance		Rated switching impulse withstand voltage	Minimum phase-to-phase clearance	
	U_m r.m.s.	U_p 1,2/50 µs (peak value)	U_s Phase-to-earth 250/2 500 µs (peak value)	Conductor – structure	Rod – structure N	U_s Phase-to-phase 250/2 500 µs (peak value)	Conductor – conductor parallel	Rod – conductor
	kV	kV	kV	mm		kV	mm	
II	300	850/950	750	1 600 1 700 [b]	1 900	1 125	2 300	2 600
		950/1 050	850	1 800 1 900 [b]	2 400	1 275	2 600	3 100
	362	950/1 050	850	1 800 1 900 [b]	2 400	1 275	2 600	3 100
		1 050/1 175	950	2 200	2 900	1 425	3 100	3 600
	420	1 050/1 175	850	1 900 2 200 [b]	2 400	1 360	2 900	3 400
		1 175/1 300	950	2 200 2 400 [b]	2 900	1 425	3 100	3 600
		1 300/1 425	1 050	2 600	3 400	1 575	3 600	4 200
	550	1 175/1 300	950	2 200 2 400 [b]	2 900	1 615	3 700	4 300
		1 300/1 425	1 050	2 600	3 400	1 680	3 900	4 600
		1 425/1 550	1 175	3 100	4 100	1 763	4 200	5 000
	800	1 675/1 800	1 300	3 600	4 800	2 210	6 100	7 400
		1 800/1 950	1 425	4 200	5 600	2 423	7 200	9 000
		1 950/2 100	1 550	4 900	6 400	2 480	7 600	9 400
	1 100	1 950/2 100	1 425 [c]	4 200	5 600	-	-	-
		2 100/2 250	1 550	4 900	6 400	2 635	8 400 [d]	10 000 [d]
		2 250/2 400	1 675	5 600 [d]	7 400 [d]	2 764	9 100 [d]	10 900 [d]
		2 400/2 550	1 800	6 300 [d]	8 300 [d]	2 880	9 800 [d]	11 600 [d]
	1 200	2 100/2 250	1 675	5 600 [d]	7 400 [d]	2 848	9 600 [d]	11 400 [d]
		2 250/2 400	1 800	6 300 [d]	8 300 [d]	2 970	10 300 [d]	12 300 [d]
		2 550/2 700	1 950	7 200 [d]	9 500 [d]	3 120	11 200 [d]	13 300 [d]

[a] The rated lightning impulse is applicable phase-to-phase and phase-to-earth.

[b] Minimum clearance required for upper value of rated lightning impulse withstand voltage.

[c] This value is only applicable to the phase-to-earth insulation of single phase equipment not exposed to air.

[d] Tentative values still under consideration.

5.5 Minimum clearances between parts under special conditions

The minimum clearances between parts of an installation which may be subject to phase opposition shall be 20 % higher than the values given in Table 1, Table 2 and Annex A.

Minimum clearances between parts of an installation, which are assigned to different insulation levels, shall be at least 125 % of the clearances of the higher insulation level.

If conductors swing under the influence of short-circuit forces, 50 % of the minimum clearances of Table 1, Table 2 and Annex A shall be maintained as a minimum.

If conductors swing under the influence of wind, 75 % of the minimum clearances of Table 1, Table 2 and Annex A shall be maintained as a minimum.

In case of rupture of one sub-chain in a multiple insulator chain, 75 % of the minimum clearances of Table 1, Table 2 and Annex A shall be maintained as a minimum.

If neither the neutral point nor a phase conductor is effectively earthed in an installation that is fed via auto transformers, the insulation of the lower voltage side shall be rated according to the highest voltage for equipment on the higher voltage side. Attention should be paid to neutral point insulation according to the method of neutral earthing.

5.6 Tested connection zones

Information on mounting and service conditions of type tested equipment supplied by the manufacturer shall be observed on site.

NOTE In tested connection zones, the minimum clearances according to Table 1, Table 2 and Annex A need not be maintained because the ability to withstand the test voltage is established by a dielectric type test.

6 Equipment

6.1 General requirements

6.1.1 Selection

Equipment shall be selected and installed to satisfy the following requirements:

a) safe construction when properly assembled, installed and connected to supply;

b) safe and proper performance taking into account the external influences that can be expected at the intended location;

c) safe and proper performance during normal operation and in the event of reasonably expected conditions of overload, abnormal operation and fault, without resulting in damage that would render the equipment unsafe;

d) protection of personnel during use and maintenance of the equipment.

6.1.2 Compliance

Equipment shall comply with the relevant IEC standards with particular attention to IEC Guide 107 and ISO/IEC Guide 51.

If compliance with operational and safety procedures specific to a certain installation is required, additional requirements shall be specified by the user.

6.1.3 Personnel safety

Particular attention shall be given to the safety of personnel during the installation, operation and maintenance of equipment.

This may include

a) manuals and instructions for transport, storage, installation, operation and maintenance,
b) special tools required for operation, maintenance and testing,
c) safe working procedures developed for specific locations,
d) safe earthing measures.

6.2 Specific requirements

6.2.1 Switching devices

A facility shall be provided to indicate the contact position of the interrupting or isolating equipment (including earthing switches). The method of indication in accordance with the equipment standard shall be specified by the user.

The position indicator shall provide an unambiguous indication of the actual position of the equipment primary contacts.

The device indicating the open/close position shall be easily visible to the operator.

Disconnectors and earthing switches shall be installed in such a way that they cannot be inadvertently operated by tension or pressure exerted manually on operating linkages.

Where specified by the user, interlocking devices and/or locking facilities shall be installed to provide a safeguard against inappropriate operation.

If an interlocking system is provided which prevents the earthing switch from carrying the full short-circuit current, it is permissible, by agreement with the user, to specify a reduced rating for the switch which reflects its possible short-circuit-current stress.

Equipment shall be installed in such a way that ionized gas released during switching does not result in damage to the equipment or in danger to operating personnel.

NOTE The word “damage” is considered to signify any failure of the equipment which impairs its function.

Ratings of switchgear shall be based on the appropriate IEC high-voltage standards. The switching of certain circuits may however require the use of more severe constraints than defined in those standards. Examples of such circuits are filter banks and loads having very high X/R ratios such as large transformers and generators. The specific requirements of switchgear for such circuits shall be agreed upon between the user and supplier.

6.2.2 Power transformers and reactors

Unless otherwise stated, this subclause applies to both transformers and reactors even when only transformers are referred to in the text.

The main selection criteria for transformers are given in Clause 4 and Clause 8.

The transformers are classified taking into account the dielectric in contact with the winding and the type of internal or external cooling, as described in Clause 3 of IEC 60076-2:1993.

When designing the transformer installation, the possibility of fire propagation (see 8.7) shall be considered. Similarly, means shall be implemented to limit, if necessary, the acoustic noise level (see 4.5.2).

For transformers installed indoors, suitable ventilation shall be provided (see 7.5.7).

Water (ground water, surface water and waste water) shall not be polluted by transformer installations. This shall be achieved by the choice of the design of transformer type and/or site provisions. For measures see 8.8.

If it is necessary to take samples (oil sampling) or to read monitoring devices (such as fluid level, temperature, or pressure), which are important for the operation of the transformer whilst the transformer is energized, it shall be possible to perform this safely and without damage to the equipment.

Air-core reactors shall be installed in such a way that the magnetic field of the short-circuit current will not be capable of drawing objects into the coil. Adjacent equipment shall be designed to withstand the resulting electromagnetic forces. Adjacent metal parts such as foundation reinforcements, fences and earthing grids shall not be subject to excessive temperature rise under normal load conditions.

The risk of damage to transformers from overstresses resulting from ferroresonance, harmonics and other causes should be minimized by appropriate system studies and measures.

Transformer pressure relief devices, if used, shall be arranged to direct the oil discharge downwards and away from the operational controls where personnel are likely to be standing.

6.2.3 Prefabricated type-tested switchgear

The requirements for gas insulated metal-enclosed switchgear (GIS), metal-enclosed switchgear, insulation-enclosed switchgear and other prefabricated type-tested switchgear assemblies are given in 7.4. For safety of personnel and gas handling, refer to 8.8.3 and 9.4.

6.2.4 Instrument transformers

The secondary circuits of instrument transformers shall be bonded to earth, or the secondary circuits shall be segregated by earthed metallic screening, in accordance with the recommendations of Clause 10.

The earthable point of the secondary circuit shall be determined in such a way that electrical interference is avoided.

Instrument transformers shall be installed in such a way that their secondary terminals are easily accessible when the switchgear assembly has been de-energized.

6.2.4.1 Current transformers

The rated overcurrent factor and the rated burden shall be selected so as to ensure correct functioning of the protective equipment and prevent damage to measuring equipment in the event of a short-circuit.

In high-voltage networks where the primary time constant is long and where reclosing is practiced, it is recommended that the transient stress due to the aperiodic portion of the short-circuit current be taken into account. The recommendations of IEC 60044-6 should be considered.

If measuring devices are also connected to protective current transformer cores, the measuring devices shall, if necessary, be protected against the damage resulting from large short-circuit currents by means of suitable auxiliary transformers.

If necessary, an effective screen between the primary and secondary circuit shall be provided for the reduction of the transient overvoltages on secondary circuits arising from the switching operation.

To protect against dangerous overvoltages, provisions shall be made to facilitate shorting the secondary windings of current transformers.

6.2.4.2 Voltage transformers

Voltage transformers shall be selected in such a way that the nominal output and accuracy are adequate for the connected equipment and wiring. The effects of ferroresonance shall be considered.

The secondary side of voltage transformers shall be protected against the effects of short-circuits, and it is recommended that protective devices be monitored.

6.2.5 Surge arresters

Surge arresters shall be designed or positioned in such a way as to provide personnel safety in case of breaking of the housing or operating of any pressure relief device.

The volt-time characteristics of surge arresters installed in the same circuit as current-limiting fuses shall take into account the overvoltages produced by the fuses.

If monitors are provided in the earth conductor of non-linear resistor type arresters, then the conductor between an arrester and the monitor, and the monitor itself, shall be protected in such a way as to prevent it being touched. It shall be possible to read the monitors and any counters with the equipment energized.

6.2.6 Capacitors

The risk of resonance and overvoltages due to harmonics shall be taken into consideration, and appropriate means for limitation of this risk shall be provided.

For the selection of the rated voltage and the current capacity of capacitors, the voltage increase caused by inductive reactances connected in series such as damping reactors and sound frequency or filter circuits shall be considered.

Capacitors for coupling, voltage measuring and over-voltage protection shall be selected according to the rated voltage of the switchgear, even if the operating voltage is lower.

Safe discharge of power capacitors shall be guaranteed. Discharge units shall be thermally and mechanically capable of carrying out their task.

The short-circuiting and earthing facilities provided for a capacitor bank shall take into account the interconnection of units within the bank, the discharge resistors and the type of fusing.

6.2.7 Line traps

The bandwidth shall be determined in accordance with the network frequency allocation.

6.2.8 Insulators

Unless otherwise specified, the minimum specific creepage distance of insulators shall comply with the recommendations of IEC/TS 60815-1, IEC/TS 60815-2 and IEC/TS 60815-3 for the level of pollution specified by the user.

The requirements of the wet test procedure of IEC 62271-1:2007 shall apply for all external insulation.

Insulator profiles and/or requirements for performance of outdoor insulators in polluted or heavy wetting conditions may be specified by the user.

6.2.9 Insulated cables

6.2.9.1 Temperature

Insulated cables shall be selected and laid in such a way that the maximum permitted temperature is not exceeded for conductors, their insulation, the connections, the equipment terminals or the surroundings under the following conditions:

a) normal operation;

b) special operating conditions, subject to previous agreement between the supplier and the user;

c) short-circuit.

The connection of a cable to equipment (for example motors, circuit-breakers) shall not result in the cable being subjected to temperatures higher than those admissible for the cable in the foreseeable operating conditions.

6.2.9.2 Stress due to temperature changes

The stress on equipment due to temperature-dependent changes in the length of conductors shall be taken into account. If necessary, the stress shall be relieved by suitable measures (for example flexible connections, expansion terminations or snaking). If these measures are not taken, the additional forces due to temperature changes shall be taken into account during verification of the mechanical strength of the equipment.

6.2.9.3 Flexible reeling and trailing cables

Flexible reeling and trailing cables shall be selected in accordance with the following requirements and conditions:

a) trailing cables, or cables having at least equivalent mechanical and electrical characteristics as trailing cables, shall be used for supplying power to hoisting mobile or moveable equipment;

b) in the case of more severe mechanical stress, for example where the cables are subject to abrasion, tension, deflection or winding during operation, double-sheathed trailing cables or cables with at least equivalent mechanical and electrical characteristics as trailing cables shall be used;

c) insulated cables for the power supply of hoisting mobile or moveable equipment shall contain a protective earth conductor;

d) the design of any connection, be it a joint, termination or other connection arrangement shall be such that in the event of a strain being placed upon the cable, the protective conductor shall be the last to part or separate;

e) insulated cables which are to be wound on a drum shall be dimensioned so that when the conductor is fully wound and subject to the normal service loading, the maximum permitted temperature is not exceeded.

The terminal ends of flexible and trailing cables shall be free from tension and compression; cable sleeves shall be protected against stripping and cable ends against twisting. The terminals shall also be designed so that the cables will not kink.

6.2.9.4 Crossings and proximities

Where insulated cables cross or are near to gas, water or other pipes, an appropriate clearance shall be maintained between cables and the pipelines. Where this clearance cannot be maintained, contact between the cables and the pipelines shall be prevented, for example, by the insertion of insulating shells or plates. These measures shall be coordinated with the operator of the pipeline. In the case of a long parallel routing, a calculation of the overvoltage induced on the pipeline during a short-circuit shall be effected. It may be necessary to

determine appropriate measures (for example, an alternative routing for the cables or pipelines, or a greater clearance between cables and pipelines).

Where insulated cables cross or are near to telecommunication installations, an appropriate clearance shall be maintained between cables and telecommunication installations.

In the case of a long parallel routing, the overvoltage induced on the telecommunication installation during a short-circuit shall be calculated (for guidance refer to ITU directives). It may be necessary to take appropriate measures to reduce this overvoltage (alternative routing for the cables or the telecommunication installations, greater clearance between cables and telecommunication installations).

Where insulated cables cross or are near to other insulated cables, the mutual thermal effects shall be calculated in order to determine the minimum clearance between cables or to determine other appropriate measures (e.g. derating). Cables shall be installed at a sufficient distance from heat sources or shall be separated from such heat sources by means of thermal insulating shields.

NOTE Crossing and proximity of insulated cables, gas and water pipes or other pipes and appropriate clearance should be in compliance with national regulations and standards.

6.2.9.5 Installation of cables

Provision of suitable access shall be made for the maintenance and testing of cables (see Clause 11).

Care shoud be taken to protect the cable from mechanical damage during and after installation as follows:

a) to avoid any damage to the cable, the laying operations shall be performed at the ambient temperature specified by the equipment standards or by the manufacturer;

b) single-core insulated cables shall be laid in such a way as to ensure that the forces resulting from short-circuit currents do not cause damage;

c) the method of laying shall be chosen to ensure that the external effects are limited to acceptable safe values. In addition, when buried in troughs, the cables shall be installed at a specific depth and covered by slabs or a warning grid to prevent any damage being caused by third parties. Underground and submarine cables should be mechanically protected where they emerge from the water or the soil;

d) laying of cables in earth shall be carried out on the bottom of a cable trench free of stones. The bedding shall be in sand or soil, free of stones. Special constructions of cables can be chosen, if necessary, to protect against chemical effects;

e) measures shall be taken to prevent cables in troughs from being damaged by vehicles running over them;

f) ground movements and vibrations shall be taken into account;

g) for vertical installations, the cable suitable for that installation shall be supported by suitable cleats, at intervals determined by the cable construction, and information provided by the manufacturer.

h) if single-core cables are laid through reinforced ceilings and walls the possibility of heating the steel reinforcing bars shall be considered. If necessary, suitable structural measures to limit the heating shall be determined.

Cables installed in metallic pipes shall be grouped in such a way that the conductors of all phases (and the neutral, if any) of the same circuit are laid in the same pipe to minimize eddy currents. Consideration should be given to the location of the earthing conductor.

Insulated cables shall be installed so that touch voltages are within the permissible values, or so that accessible parts with impermissible touch voltages are protected against contact by adequate measures.

NOTE There may be a risk of high circulating currents in screens of sheathed single-core cables, especially when laid flat.

Metallic sheaths shall be earthed in accordance with Clause 10.

The length of cable connecting transformers and reactors to a circuit shall be selected so as to minimize the occurrence of ferroresonance.

Care shall be taken to limit the mechanical stress on equipment when connecting power cables.

6.2.9.6 Bending radius

The minimum values of bend radius during and after installation are dependent on the type of cable. These are given in the relevant standards or shall be specified by the manufacturer.

6.2.9.7 Tensile stress

The maximum permissible tensile stress during laying depends on the nature of the conductor and on the type of cable. These are given in the relevant standards or shall be specified by the manufacturer.

The continuous static and peak tensile stress applied to the conductors of flexible and trailing cables shall be as small as possible, and shall not exceed the values given by the manufacturer.

6.2.10 Conductors and accessories

This subclause deals with conductors (rigid or flexible) and accessories, which are part of outgoing feeders or busbars in installations.

Covered conductors shall be treated as bare conductors.

Provision shall be made to allow for the expansion and contraction of conductors caused by temperature variations. This shall not apply where the stress caused by temperature variations has been allowed for in the conductor system design.

Joints between conductors and connections between conductors and equipment shall be without defects and shall not deteriorate while in service. They shall be chemically and mechanically stable. The joint faces shall be suitably prepared and connected as specified for the type of connection. The temperature rise of a connection between conductors and switchgear in service shall not exceed the values specified in IEC 62271-1:2007.

NOTE The open ends of tubular busbars should be plugged to prevent corrosion and birds nesting.

Provision shall be made to avoid possible resonant oscillation of tubular busbars caused by wind.

6.2.11 Rotating electrical machines

The risk of personal injury from faults within the terminal boxes of machines shall be minimized. The terminal boxes of motors shall withstand the local short-circuit conditions. Current-limiting devices may be necessary.

The degree of protection of the equipment against the ingress of objects, dust and water shall be chosen in accordance with the climatic and environmental conditions at the site of

installation. Hazardous parts of the machine shall be protected against accidental contact by persons. The degree of protection shall be defined in accordance with IEC 60529.

The insulation level of the machine shall be selected in accordance with IEC 60034-1.

Sufficient cooling shall be provided.

NOTE Machines should be protected against exceeding the maximum permitted temperature rise by use of suitable electric protective devices. Particularly for large machines or those critical for a production process, protection devices should be installed which indicate an internal fault of the machine or, if necessary, automatically shut it down.

The overall design of the installation shall identify requirements for the type of motor enclosure, particularly if the motor is to be installed in a hazardous area. In addition, safety issues such as noise levels, maximum temperature of surfaces accessible to personnel, control of spillage and guarding, shall meet the particular requirements of the installation.

Starting large motors results in voltage drops in the electrical distribution system. Different techniques are available for reducing the impact on the electrical network when starting large motors. The protection equipment shall be designed to provide adequate protection of the motor during the complete starting sequence.

The contribution of large motors to the short-circuit current shall be considered.

6.2.12 Generating units

The type of power rating for the generating unit shall be stated (e.g. continuous, prime, or standby power). Operation of the generator in parallel with the utility or in parallel with other generators should be stated. The switching devices to be used for synchronizing shall be defined.

The overall design of the installation shall identify the general safety requirements specific to the equipment, particularly for fire protection and use of hydrogen. See IEC 60034-3.

6.2.13 Generating unit main connections

For small generating units, selection and specification of generator main connections (busbars) may be based upon appropriate clauses of IEC 62271-200.

However, particular care shall be taken in the selection of rated peak making currents. It may also be necessary to specify additional testing or calculations for connections that are not factory-built and type-tested.

Where necessary, fault studies shall be conducted to establish peak making and short-time withstand currents, particularly for branch connections of reduced cross-section (e.g. to auxiliary transformers).

For larger generating units, and where higher system security is required, it is recommended to use phase isolated or phase segregated busbar systems.

The impact of the magnetic field due to the use of generating unit main connections without metallic enclosures shall be considered in the design of the installation.

The design shall take into account the fact that when a generating unit is off line but rotating at low speed to prevent deformation of the generator shaft:

a) there is a possibility of induced voltages presenting a safety hazard; and
b) means shall be provided to change the off-circuit tap position on transformers connected directly to generator terminals.

NOTE When connections between the generator and the transformer are short, provision should be made to add capacitors in the connection gear to limit overvoltages which can occur during switching.

6.2.14 Static converters

Accessible parts of converter units that can carry dangerous voltage during normal operation or under fault conditions shall be adequately marked and shall be adequately protected against accidental contact by persons. This may be achieved by providing suitable protective barriers.

The cooling and heat transfer mediums shall not contain mechanical pollution or chemically aggressive components which might cause malfunction of the equipment.

When water is used as coolant, the possibility of corrosion caused by leakage currents (currents due to the conductivity of water) shall be considered.

When oil is used as coolant, similar protection against fire and pollution of ground water shall be provided as for oil-filled transformers and reactors.

When planning the layout of converter units, the possibility of magnetic interference, caused by high a.c. currents, on other equipment or parts of the installation, especially steel components, shall be considered.

6.2.15 Fuses

6.2.15.1 Clearances

Minimum electrical clearances for fuse assembly installations shall take into consideration all possible positions of the live parts before, during and after operation.

Vented fuses shall be provided with adequate clearances or appropriate protective barriers in the direction or directions in which they are vented. Discharges from vented fuses may contain hot gases, arc plasma and molten metal. They may also be conductive.

Facilities shall be provided to ensure that personnel are not exposed to discharges of vented fuses either during replacement or when working in the area. When this is not possible, the circuit feeding the fuse shall be de-energized prior to possible exposures, or the personnel shall use protective shielding and clothing.

6.2.15.2 Fuse replacement

Fuses shall be installed in such a way that their replacement can be carried out safely according to manufacturer’s instructions.

NOTE All necessary information should be available to the operating and maintenance personnel for the proper selection of replacement fuses.

6.2.16 Electrical and mechanical Interlocking

Interlocking may be necessary to ensure the correct sequence of operation of equipment, to prevent danger to personnel and to prevent damage to the equipment.

Interlocking may be achieved by electrical or mechanical methods. In the event of the loss of power supplies, electrical interlocking schemes shall be designed to fail safely.

7 Installations

7.1 General requirements

This clause specifies only general requirements for the installations regarding choice of circuit arrangement, circuit documentation, transport routes, lighting, operational safety and labelling.

Distances, clearances and dimensions specified are the minimum values permitted for safe operation. They are generally based on the minimum values given in the former national standards of the IEC members. A user may specify higher values if necessary.

NOTE For minimum clearances (N) of live parts, refer to 5.4 and to Table 1, Table 2 and Annex A.

National standards and regulations may require the use of higher clearance values.

Where an existing installation is to be extended, the requirements applicable at the time of its design and erection may be specified as an alternative.

The relevant standards for operation of electrical (power) installations shall additionally be taken into account. Operating procedures shall be defined by the user (see 7.1.1).

7.1.1 Circuit arrangement

The circuit arrangement shall be chosen to meet operating requirements and to enable implementation of the safety requirements in accordance with 8.3. The continuity of service under fault and maintenance conditions, taking into account the network configuration, shall also be considered. The circuits shall be arranged so that switching operations can be carried out safely and quickly.

Each electrically separated system shall be provided with an earth fault indicating device which permits detection or disconnection of an earth fault.

It shall be ensured that isolated sections of an installation cannot be inadvertently energized by voltage from parallel connected secondary sources (for example instrument transformers).

Isolating equipment accessible to the general public shall be capable of being locked.

Installations shall be capable of withstanding the thermal and dynamic stresses resulting from short-circuit current in accordance with Clause 4.

The circuit arrangement may, however, be configured in such a way that sections of the installation which are normally operated separately are interconnected for short periods during switching operations, even when, as a result of such connection, the short-circuit current exceeds the design rating for the installation. In such cases, suitable protective measures shall be taken to prevent danger to personnel. Defined operating procedures may be required for this purpose.

NOTE 1 This situation may be unavoidable in operation if, for example, feeders are switched from one busbar to another.

In circuits that have current-limiting protective devices, equipment and short connections may have ratings that correspond to the cut-off (let through) current of the current-limiting device.

NOTE 2 Equipment located between the busbar and the current-limiting devices will have sufficient through-fault current duty only in case of faults on the load side of the current-limiting devices.

7.1.2 Documentation

Where applicable, the documentation shall be provided with each installation to allow erection, commissioning, operation, maintenance and environmental protection.

The extent and the language of the documentation shall be agreed upon between the supplier and the user.

Diagrams, charts and tables, if any, shall be prepared in accordance with IEC 60617 and IEC 61082-1.

7.1.3 Transport routes

Transport routes, their load capacity, height and width shall be adequate for movements of anticipated transport units and shall be agreed upon between the supplier and the user.

Within closed electrical operating areas, the passage of vehicles or other mobile equipment beneath or in proximity to live parts (without protective measures) is permitted, provided the following conditions are met (see Figure 5):

– the vehicle, with open doors, and its load does not infringe the danger zone: minimum protective clearance for vehicles $T = N + 100$ (minimum 500 mm);

– the minimum height, H, of live parts above accessible areas is maintained (see 7.2.4).

Under these circumstances, personnel may remain in vehicles or mobile equipment only if there are adequate protective measures on the vehicle or mobile equipment, for example the cab roof, to ensure that the danger zone defined above cannot be infringed.

For the lateral clearances between transport units and live parts, similar principles apply.

7.1.4 Aisles and access areas

The width of aisles and access areas shall be adequate for work, operational access, emergency access, emergency evacuation and for transport of equipment.

NOTE Maintenance and operating areas in buildings see 7.5.4

7.1.5 Lighting

Accessible indoor and outdoor installations shall be provided with suitable lighting for routine operations.

Emergency/auxiliary lighting shall be provided if necessary; this may be a fixed installation or portable equipment.

In some cases, in small distribution substations, a lighting installation may not be required. In such cases, the presence and extent of the lighting shall be agreed upon between the supplier and the user.

Any part of the lighting installation which needs maintenance or replacement, for example lamps, shall be installed so that when the work is carried out correctly, the working clearance to live parts can be maintained.

NOTE Lighting levels should be in accordance with current applicable international and/or national standards and regulations.

7.1.6 Operational safety

Operational safety installations shall be designed so that the escape and rescue paths and the emergency exit can be safely used in the event of a fire, and that protection and environmental compatibility are ensured.

Where necessary, installations themselves shall be protected against fire hazard, flooding and contamination. If required, additional measures shall be taken to protect important installations against the effects of road traffic (salt spray, vehicle accident).

7.1.7 Labelling

Identification and labelling are required to avoid operating errors and accidents.

All important parts of the installation, for example busbar systems, switchgear, bays, conductors, shall be clearly, legibly and durably labelled.

Safety warnings, for example warning notices, safety instruction notices and informative notices shall be provided at suitable points in the installation (see 8.9).

NOTE 1 Local and national regulations should be taken into account.

NOTE 2 Informative notices should be provided for the operation of key-interlocking schemes.

NOTE 3 Safety warnings may be provided wherever multiple sources of high-voltage power are required to be disconnected for the complete deenergization of equipment or where equipment may be inadvertently back-fed.

7.2 Outdoor installations of open design

The layout of open type outdoor installations shall take into account the minimum phase-to-phase and phase-to-earth clearances given in Clause 5.

The design of the installation shall be such as to restrict access to danger zones, taking into account the need for operational and maintenance access. External fences shall therefore be provided and, where safety distances cannot be maintained, permanent protective facilities shall be installed. For electrical installations on mast, pole and tower external fences may not be required, if the installation is inaccessible from ground level to the general public and meet the safety distances given in 7.7.

A separation shall be provided between bays or sections by appropriate distances, protective barriers or protective obstacles.

7.2.1 Protective barrier clearances

Within an installation, the following minimum protective clearances shall be maintained between live parts and the internal surface of any protective barrier (see Figure 1):

– for solid walls, without openings, with a minimum height of 1 800 mm, the minimum protective barrier clearance is $B_1 = N$;

– for wire meshes, screens or solid walls with openings, with a minimum height of 1 800 mm and a degree of protection of IPXXB (see IEC 60529), the minimum protective barrier clearance is $B_2 = N + 80$ mm.

NOTE The degree IPXXB ensures protection against access to hazardous parts with fingers.

For non-rigid protective barriers and wire meshes, the clearance values shall be increased to take into account any possible displacement of the protective barrier or mesh.

7.2.2 Protective obstacle clearances

Within installations the following minimum clearance shall be maintained from live parts to the internal surface of any protective obstacle (see Figure 1):

– for solid walls or screens less than 1 800 mm high, and for rails, chains or ropes, the minimum protective obstacle clearance is O_2 = N + 300 mm (minimum 600 mm);

– for chains or ropes, the values shall be increased to take into account the sag.

Where appropriate, protective obstacles shall be fitted at a minimum height of 1 200 mm and a maximum height of 1 400 mm.

NOTE Rails, chains and ropes are not acceptable in certain countries.

7.2.3 Boundary clearances

The external fence of outdoor installations of open design shall have the following minimum boundary clearances in accordance with Figure 2:

– solid walls (height see 7.2.6) : C = N + 1 000 mm;

– wire mesh/screens (height see 7.2.6) : E = N + 1 500 mm.

7.2.4 Minimum height over access area

The minimum height of live parts above surfaces or platforms where only pedestrian access is permitted shall be as follows:

– for live parts without protective facilities, a minimum height H = N + 2 250 mm (minimum 2 500 mm) shall be maintained (see Figure 3). The height H refers to the maximum conductor sag (see Clause 4);

– the lowest part of any insulation, for example the upper edge of metallic insulator bases, shall be not less than 2 250 mm above accessible surfaces unless other suitable measures to prevent access are provided.

Where the reduction of safety distances due to the effect of snow on accessible surfaces needs to be considered, the values given above shall be increased.

7.2.5 Clearances to buildings

Where bare conductors cross buildings which are located within closed electrical operating areas, the following clearances to the roof shall be maintained at maximum sag (see Figure 4):

– the clearances specified in 7.2.4 for live parts above accessible surfaces, where the roof is accessible when the conductors are live;

– N + 500 mm where the roof cannot be accessed when the conductors are live;

– O_2 in lateral direction from the end of the roof if the roof is accessible when the conductors are live.

Where bare conductors approach buildings which are located within closed electrical operating areas, the following clearances shall be maintained, allowing for the maximum sag/swing in the case of stranded conductors:

– outer wall with unscreened windows: minimum clearance given by D_V;

– outer wall with screened windows (screened in accordance with 7.2.1): protective barrier clearances B_2 in accordance with 7.2.1;

– outer wall without windows: N.

7.2.6 External fences or walls and access doors

Unauthorized access to outdoor installations shall be prevented. Where this is by means of external fences or walls, the height and construction of the fence/wall shall be adequate to deter climbing.

Additional precautions may be required in some installations to prevent access by excavation beneath the fence.

The external fence/wall shall be at least 1 800 mm high. The lower edge of a fence shall not be more than 50 mm from the ground (for clearances see Figure 2).

Access doors to outdoor installations shall be equipped with security locks.

External fences/walls and access doors shall be marked with safety signs in accordance with 8.8.

In some cases, for public security reasons, additional measures may be necessary.

The degree of protection of IP1X (see IEC 60529) shall be used.

NOTE The use of metal mat fences with a mesh size of 50 mm x 200 mm (width x height) is applicable if the design of fencing prevents unauthorized entrance.

7.3 Indoor installations of open design

The layout of open-type indoor installations shall take into account the minimum phase-to-phase and phase-to-earth clearances specified in Clause 5.

The design of the installation shall be such as to prevent access to danger zones taking into account the need of access for operational and maintenance purposes. Therefore, safety distances or permanent protective facilities within the installation shall be provided.

For protective barrier clearances, safety distances and minimum height, see 7.2.

For buildings, corridors, escape routes, doors and windows, see 7.5.

For solid walls or screens less than 1 800 mm high, and for rails, chains or ropes, the protective obstacle clearances are at least

$$O_1 = N + 200 \text{ mm (minimum 500 mm, see Figure 1)}$$

For chains or ropes, the values shall be increased taking into account the sag. They shall be fitted at a minimum height of 1 200 mm to a maximum of 1 400 mm, where appropriate.

7.4 Installation of prefabricated type-tested switchgear

7.4.1 General

This subclause specifies additional requirements for equipment which apply to external connections, erection and operation at the place of installation. The installation shall be dimensioned and designed to avoid danger to persons and damage to property, taking into account the type of installation and local conditions.

Factory-built, type-tested high voltage switchgear shall be manufactured and tested in accordance with relevant IEC standards such as IEC 62271-1:2007, IEC 62271-200, IEC 62271-201 and IEC 62271-203.

NOTE In some countries, switchgear complying with IEC 62271-201 may be considered as an open type indoor installation.

The switchgear shall be well adapted to its purpose, clearly arranged and so designed that essential parts are accessible for erection, operation and maintenance. Arrangements and access shall be provided to permit assembly at site. Future possible extensions should be considered.

Appropriate arrangements shall be made for external connections. Conductors and cables shall be selected and arranged in such a way as to ensure safe insulation level between conductors and between each conductor and surrounding earthed metallic structures.

Safety devices that are intended to reduce the internal switchgear pressure resulting from a fault shall be designed and arranged with consideration for their potential hazard to personnel. The accumulation of dangerous concentrations of gas decomposition products in switch rooms shall be prevented.

7.4.2 Additional requirements for gas-insulated metal-enclosed switchgear

7.4.2.1 Design

If platforms and ladders are necessary for operation and maintenance, they shall be designed and arranged to provide safe access for personnel. These elements may be fixed or removable.

Where necessary, arrangements shall be made to protect the switchgear from dangerous vibrations from transformers/reactors with gas-insulated connections. Bellows shall be provided, where necessary, to allow for heat expansion, erection tolerances and settlement of foundations.

For gas-insulated installations with several pressure chambers, clear labels shall be provided indicating the construction of the installation and the position of partitions. Monitoring devices shall be clearly marked and located to permit easy supervision.

Gas pipelines and fittings in areas where mechanical damage is expected shall be protected.

SF_6 gas pipelines shall be marked where there is a possibility of confusion with other pipelines.

7.4.2.2 Erection on site

Erection of GIS shall be carried out in a clean environment.

For outdoor installations, it may be necessary to provide a suitable temporary enclosure over the work area to protect the equipment from the environmental conditions whilst installation and/or maintenance is taking place.

For SF_6 gas handling, see 9.4.

For SF_6 leakage, see 8.8.2 and 8.8.3.

7.4.2.3 Protection against overvoltages

Protection of the GIS against overvoltages should normally be provided by the surge arresters installed on the feeders. In some cases, the protection given by this equipment may be inadequate. This situation arises mainly in the following configurations:

– large distance between the GIS and transformers;

– transformers connected to the GIS by means of cables;

– long busbars open at their ends;

– connection to overhead lines by means of insulated cables;

– locations with high probability of lightning strikes.

For these configurations, the installation of additional surge arresters may be required. Their location should be based on experience with similar situations or on calculations.

7.4.2.4 Earthing

The enclosure of a GIS should be connected to the earthing system at least at the following points:

a) inside the bays:
   – close to the circuit-breaker;
   – close to the cable sealing end;
   – close to the SF_6/air bushing;
   – close to the instrument transformer.

b) on the busbars:
   – at both ends and at intermediate points, depending on the length of the busbars.

The three enclosures of a single-phase type GIS shall be bonded together with short connections and earthed at least at the end of the enclosure of the outgoing and incoming feeders.

Additional bonding straps are not required at flange joints if it can be ensured that the contact pressure of the flange provides adequate contact connection for high frequencies.

Earthing conductors of surge arresters for the protection of gas-insulated installations shall be connected by as short a connection as possible to the enclosure.

Metallic sheaths (for example metal enclosures, armoured coverings, screens) of cables with nominal voltages above 1 kV should be connected directly to the GIS enclosure.

In some special cases, e.g. cathodic protection of cables, it may be necessary to separate the earth connection of the cables from the GIS enclosure. In this case, the installation of a voltage surge protection device is recommended between the sealing end and enclosure.

7.5 Requirements for buildings

7.5.1 Introduction

Buildings shall comply with national building codes and fire regulations. Where such national standards do not exist, the following may be used as a guide.

This subclause indicates the requirements that have to be satisfied in areas or locations where electrical equipment for high-voltage installations is installed. For the purpose of this standard, prefabricated substations covered by IEC 62271-202 are not considered as buildings.

7.5.2 Structural provisions

7.5.2.1 General

Load-carrying structural members, partition walls, claddings, enclosures, etc. shall be selected to withstand the expected combustible load.

Electrical operating areas shall be designed to prevent ingress of water and to minimize condensation.

Materials used for walls, ceilings and floors on the ground shall, where possible, not be damaged by water penetration or leakage. If this requirement cannot be met, precautions shall be taken to prevent the consequences of a leak or of condensation affecting the operating safety.

The building design shall take into account the expected mechanical loading and internal pressure caused by an arc fault.

Pipelines and other equipment, if allowed in substations, shall be designed so that the electrical installation is not affected, even in the event of damage.

7.5.2.2 Specifications for walls

The external walls of the building shall have sufficient mechanical strength for the environmental conditions.

The mechanical strength of the buildings shall be sufficient to withstand all static and dynamic loads due to normal operation of the installation.

The passage of pipes or wiring systems shall not affect the structural integrity of the walls.

Metal parts that pass through walls shall meet the requirements of Clause 10.

Panels of the exterior surface of buildings that are accessible to the general public shall not be removable from the outside. The constituent materials of the external enclosures shall be capable of withstanding the attacks of atmospheric elements (rain, sun, aggressive wind, etc.).

7.5.2.3 Windows

Windows shall be designed so that entry is difficult. This requirement is considered fulfilled if one or more of the following measures are applied:

– the window is made of unbreakable material;
– the window is screened;
– the lower edge of the window is at least 1,8 m above the access level;
– the building is surrounded by an external fence at least 1,8 m high.

7.5.2.4 Roofs

The roof of the building shall have sufficient mechanical strength to withstand the environmental conditions.

If the ceiling of the switchgear room is also the roof of the building for pressure relief, the anchoring of the roof to the walls shall be adequate.

7.5.2.5 Floors

The floors shall be flat and stable and shall be able to support the static and dynamic loads.

7.5.3 Rooms for switchgear

The dimensions of the room and of the required pressure relief openings depend on the type of switchgear and the short-circuit current.

If pressure relief openings are necessary, they shall be arranged and situated in such a way that when they operate (blow out due to an arc fault) the danger to persons and damage to property is minimized.

7.5.4 Maintenance and operating areas

Maintenance and operating areas comprise aisles, access areas, handling passages and escape routes.

Aisles and access areas shall be adequately dimensioned for carrying out work, operating switchgear and transporting equipment.

Aisles shall be at least 800 mm wide.

The width of the aisles shall not be reduced even where equipment projects into the aisles, for example permanently installed operating mechanisms or switchgear trucks in isolated positions.

Space for evacuation shall always be at least 500 mm, even when removable parts or open doors, which are blocked in the direction of escape, intrude into the escape routes.

For erection or service access ways behind closed installations (solid walls), a minimum width of 500 mm is required.

Clear and safe access for personnel shall be provided at all times.

NOTE The doors of switchgear cubicles or bays should close in the direction of escape.

Below ceilings, covers or enclosures, except cable accesses, a minimum height of 2 000 mm is required.

Exits shall be arranged so that the length of the escape route within the room does not exceed 40 m for installation of rated voltages U_{m} greater than 52 kV, and 20 m for installation of rated voltages up to U_{m} = 52 kV. This does not apply to accessible bus ducts or cable ducts. If the above distances of the escape route cannot be met, an agreement shall be made with the user.

Permanently installed ladders or similar are permissible as emergency exits in escape routes.

7.5.5 Doors

Access doors shall be equipped with security locks to prevent unauthorised entry.

Access doors shall open outwards and be provided with safety signs in accordance with 8.9.

Doors which lead to the outside shall be of low flammability material, except where the building is surrounded by an external fence at least 1,8 m high.

Doors between various rooms within a closed electrical operating area are not required to have locks.

It shall be possible to open emergency doors from the inside without a key by using a latch or other simple means, even when they are locked from the outside. This requirement need not be complied with for small installations where the door has to be kept open during operating or servicing.

The minimum height of an emergency door shall be 2 m and the minimum clear opening 750 mm.

7.5.6 Draining of insulating liquids

Protective measures shall be taken when insulating liquids are used (see also 8.8).

7.5.7 Air conditioning and ventilation

Indoor climate conditions shall be established e.g. by adequate cooling, heating, dehumidifying, ventilation or by adequate design of the building.

It is preferable to use natural ventilation for transformer rooms.

Forced ventilation systems (permanent or mobile) shall be designed to take into consideration smoke removal from the building.

Monitoring of the operation of a permanent fan is recommended.

Ventilation openings shall be designed so as to prevent any dangerous proximity to live parts and any dangerous ingress of foreign bodies.

Coolants and heat transfer media shall not contain mechanical impurities or chemically aggressive substances in quantities or qualities which may be hazardous to the correct function of the equipment in the installation.

Filters or heat exchangers shall be provided, if necessary.

Mechanical ventilation systems shall be so arranged and placed that inspection and maintenance can be carried out even when the switchgear is in operation.

7.5.7.1 Ventilation of battery rooms

Rooms containing batteries shall take into account the ventilation requirements, if necessary, depending on battery types, to prevent the explosive build-up of combustible gas during battery charging.

7.5.7.2 Rooms for emergency generating units

Consideration should be given to installing emergency generating units in separate rooms.

Ventilation equipment shall be provided. Containment shall be provided to capture and control fuel or lubricating oil spills.

Engine exhaust systems shall be installed and located such that exhaust fumes shall not return to the ventilating air intake of the switchgear and control rooms, nor enter the air intake for the emergency generating unit.

7.5.8 Buildings which require special consideration

For high-voltage installations located in public or residential buildings, special conditions shall be imposed, in accordance with existing standards or national regulations.

7.6 High voltage/low voltage prefabricated substations

For the rules governing manufacture and testing, see IEC 62271-202.

Compact substations shall be situated so that they are unlikely to be damaged by road vehicles. Adequate space for operating and maintenance purposes shall also be provided.

7.7 Electrical installations on mast, pole and tower

The minimum height H' of live parts above surfaces accessible to the general public shall be

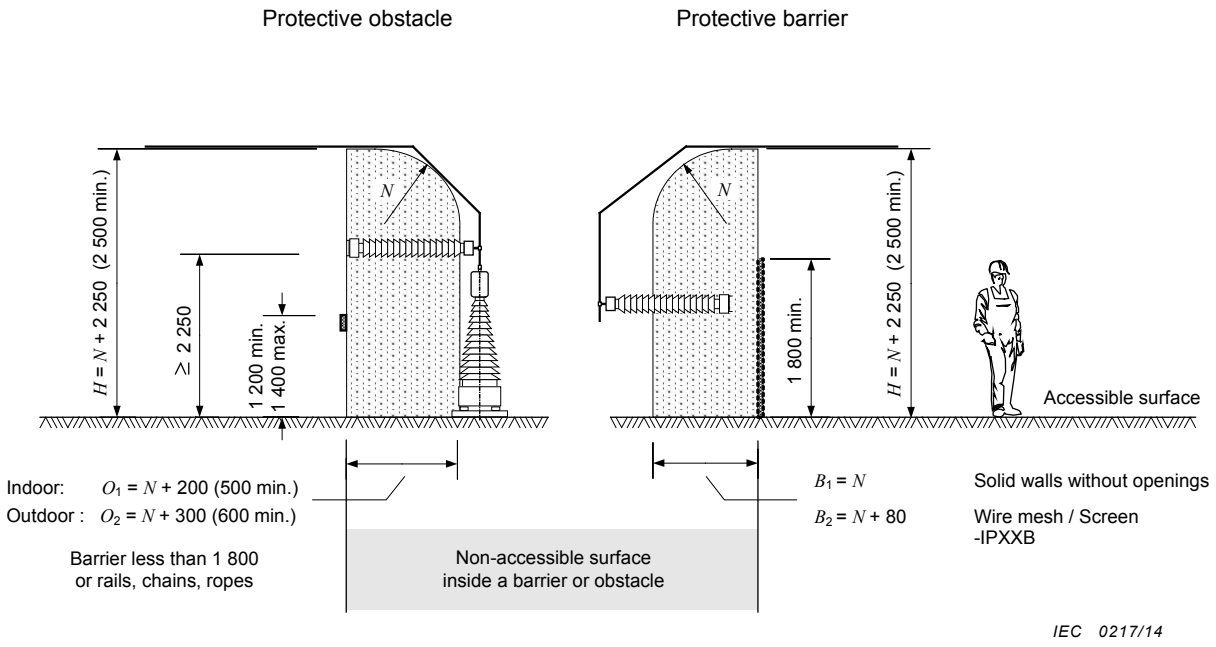
- H' = 4 300 mm for rated voltages U_m up to 52 kV;
- H' = N + 4 500 mm (minimum 6 000 mm) for rated voltages U_m above 52 kV;

  where N is the minimum clearance.

Where the reduction of safety distances due to the effect of snow on accessible surfaces needs to be considered, the values given above shall be increased.

Isolating equipment and fuses shall be arranged so that they can be operated without danger. Isolating equipment accessible to the general public shall be capable of being locked. The operating rods shall be compliant with the relevant standard.

Safe phase-to-phase connection and earthing of the overhead line shall be possible.



Dimensions in millimetres

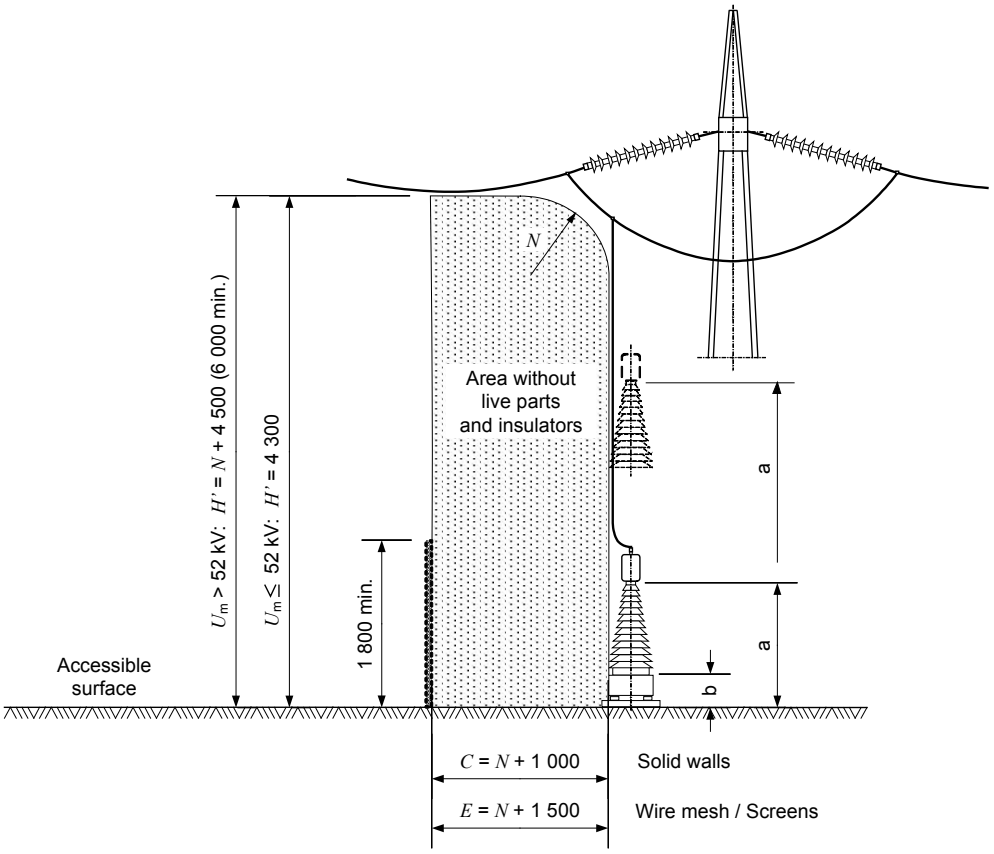
Key

N Minimum clearance

O Obstacle clearance

B Barrier clearance

Figure 1 – Protection against direct contact by protective barriers/protective obstacles within closed electrical operating areas



IEC 0218/14

Dimensions in millimetres

Key

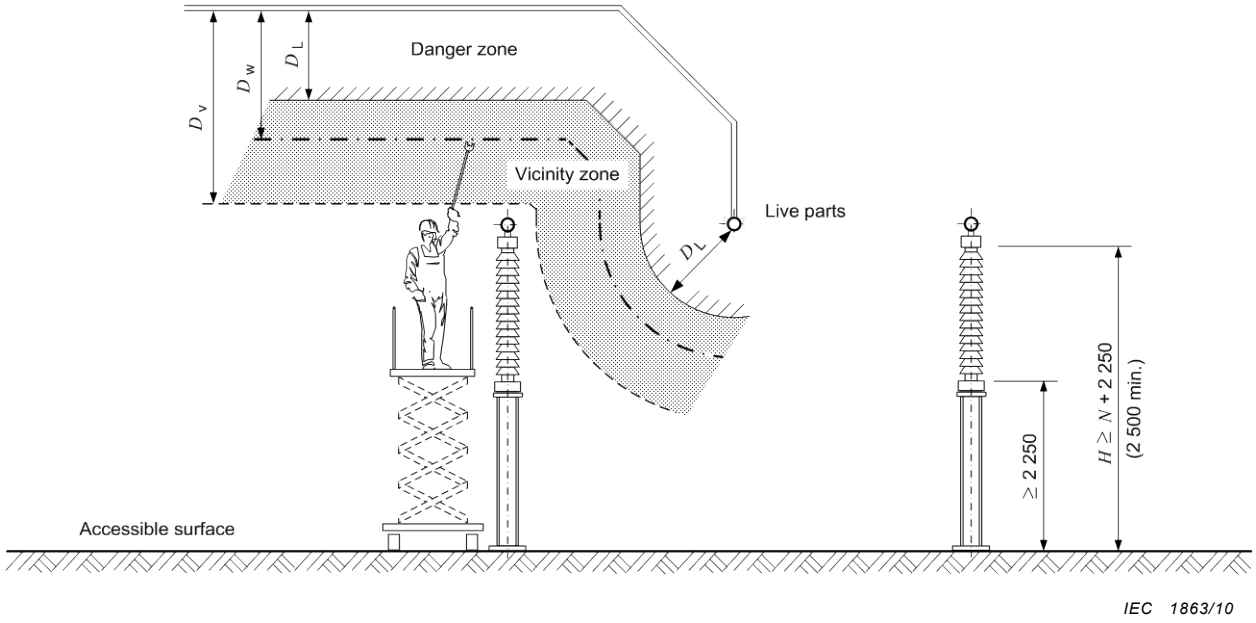
N Minimum clearance

H' Minimum clearance of live parts above accessible surface at the external fence

a If this distance to live parts is less than H, protection by barriers or obstacles shall be provided

b If this distance is smaller than 2 250 mm, protection by barriers or obstacles shall be provided

Figure 2 – Boundary distances and minimum height at the external fence/wall



Dimensions in millimetres

Key

D_L N

D_V N + 1 000 for $U_n \leq$ 110 kV

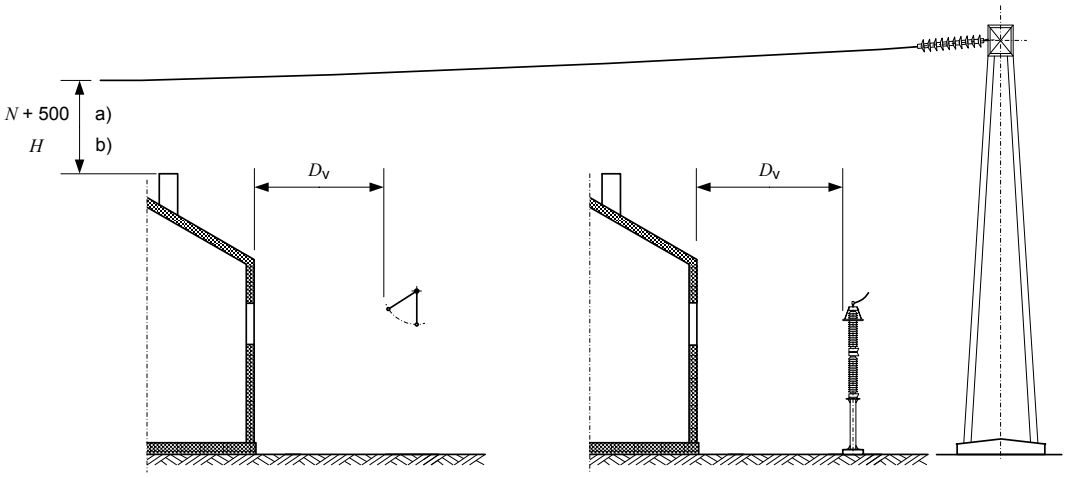
D_V N + 2 000 for $U_n >$ 110 kV

D_W Working clearance according to national standards or regulations

N Minimum clearance

H Minimum height

Figure 3 – Minimum heights and working clearances within closed electrical operating areas



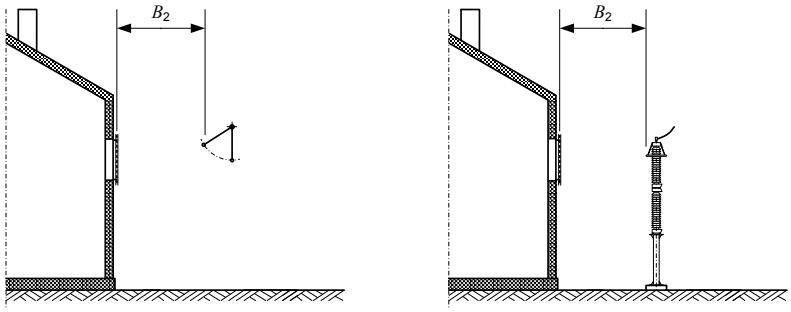
a) The roof cannot be accessed when the conductors are live
b) The roof can be accessed when the conductors are live

N Minimum clearance H Minimum height

$D_V = N + 1\,000$ for $U_n \leq 110$ kV
$D_V = N + 2\,000$ for $U_n > 110$ kV

IEC 1864/10

Figure 4a – Outer wall with unscreened windows

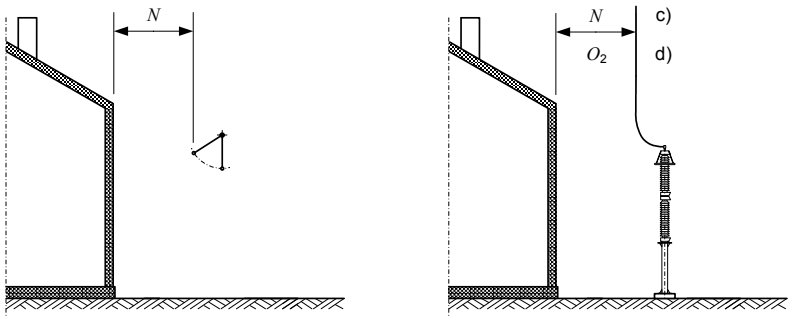


$B_2 \geq N + 100$

N Minimum clearance

IEC 1865/10

Figure 4b – Outer wall with screened windows



N Minimum clearance

c) N if the roof is non-accessible when the conductors are live
d) $O_2 \geq N + 300$ (600 min.) if the roof is accessible when the conductors are live

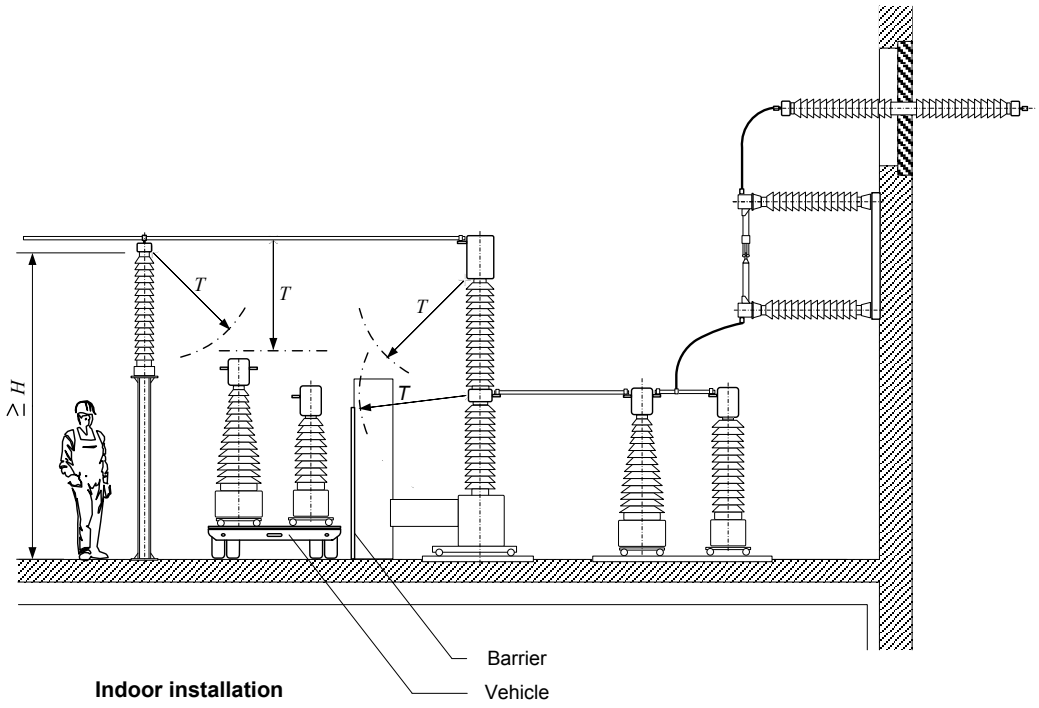
IEC 1866/10

Figure 4c – Outer wall without windows

Dimensions in millimetres

NOTE When work is performed on the roof when the conductors are live, clearances from Figure 3 should be used.

Figure 4 – Approaches with buildings (within closed electrical operating areas)

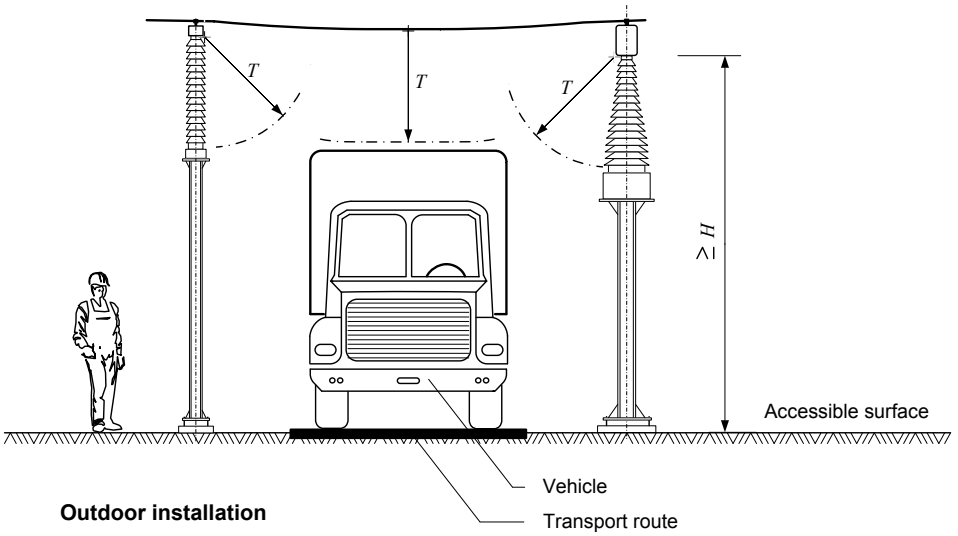


Indoor installation

$T = N + 100$ (500 min.)

N Minimum clearance

IEC 1867/10



Outdoor installation

IEC 1868/10

Dimensions in millimetres

Figure 5 – Minimum approach distance for transport

8 Safety measures

8.1 General

Installations shall be constructed in such a way as to enable the operating and maintenance personnel to circulate and intervene within the framework of their duties and authorizations, according to circumstances, at any point of the installation.

Specific maintenance work, preparation and repair work, which involve working in the vicinity of live parts or actual work on live parts, are carried out observing the rules, procedures and work distances as defined in national standards and regulations.

8.2 Protection against direct contact

Installations shall be constructed so that unintentional touching of live parts or unintentional reaching into a dangerous zone near live parts is prevented.

Protection shall be provided for live parts, parts with functional insulation only and parts which can be considered to carry a dangerous potential.

Examples of such parts are as follows:

– exposed live parts;
– parts of installations where earthed metallic sheaths or conducting screens of cables have been removed;
– cables and accessories without earthed metallic sheaths or earthed conducting elastomeric screens, as well as flexible cables without conducting elastomeric screens;
– terminations and conducting sheathing of cables, if they can carry a dangerous voltage;
– insulating bodies of insulators and other such parts, for example electrical equipment insulated by cast resin, if a dangerous touch voltage can occur;
– frames or cases of capacitors, converters and converter transformers, which can carry a dangerous voltage during normal operation;
– windings of electrical machines, transformers and air-cored reactors.

Protection may be achieved by different means, depending on whether the installation is located in a closed electrical operating area or not.

Information on protection against electric shock is given in IEC 61140.

8.2.1 Measures for protection against direct contact

8.2.1.1 Recognized protection measures

The following types of protection are recognized:

– protection by enclosure;
– protection by barrier;
– protection by obstacle;
– protection by placing out of reach.

8.2.1.2 Design of protective measures

Protective barriers can be solid walls, doors or screens (wire mesh) with a minimum height of 1 800 mm to ensure that no part of the body of a person can reach the dangerous zone near live parts.

Protective obstacles can, for example, be covers, rails, chains and ropes as well as walls, doors and screens which are less than 1 800 mm high and therefore cannot be considered as protective barriers.

Protection by placing out of reach is achieved by placing live parts outside a zone extending from any surface where persons can usually stand or move about, to the limits which a person can reach with a hand in any direction (see Clause 7).

Protective facilities used as a protective measure against direct contact, such as walls, covers, protective obstacles, etc., shall be mechanically robust and securely mounted.

Doors of switchgear rooms or bays used as a part of an enclosure shall be designed so that they can be opened only by using a tool or a key. In areas outside closed electrical operating areas, these doors shall be provided with safety locks.

Movable, conductive protective facilities shall be secured so that when correctly used the relevant protective barrier or protective obstacle clearance is maintained; otherwise they shall be made of insulating material or dry wood. It is permitted that a rail may be removed without the use of a tool. Protective rails shall be rigid.

In areas or rooms accessible to the public, protective facilities shall not be easily removable from outside with normal tools.

8.2.2 Protection requirements

8.2.2.1 Protection outside of closed electrical operating areas

Outside the closed electrical operating areas, only protection by enclosure or protection by placing out of reach is allowed.

When protection by enclosure is used, the minimum degree of protection shall be IP2XC.

NOTE As an exception, ventilation openings may be such that a straight wire cannot intrude into the equipment in such a way that it causes danger by approaching parts needing to be protected from direct contact.

When protection by placing out of reach is used, the vertical clearances between accessible surfaces and the parts to be protected from direct contact shall be in accordance with 7.2.6 or Figure 2.

8.2.2.2 Protection inside closed electrical operating areas

Inside closed electrical operating areas, protection by enclosure, protective barrier, protective obstacle or placing out of reach is allowed.

When protection by enclosure is used, the degree of protection shall meet the requirements of IP2X in minimum. However, special protection measures to meet danger resulting from arc faults may be necessary.

When protection by protective barrier is used, see 7.2.1.

When protection by protective obstacle is used, see 7.2.2 and 7.3.

When protection by placing out of reach is used, see 7.2.4 and 7.2.5.

NOTE For more detailed requirements on external fences, transport routes, crossings and access to buildings, etc., see Clause 7.

8.2.2.3 Protection during normal operation

NOTE The relevant standards for operation of electrical installations should be taken into account.

Protection measures in an installation shall take into account the need for access for purposes of operation and control and maintenance, e.g.:

– control of a circuit-breaker or a disconnector;
– changing a fuse or a lamp;
– adjusting a setting value of a device;
– resetting a relay or an indicator;
– earthing for work;
– erection of a temporary insulating shutter;
– reading the temperature or oil level of a transformer.

In installations with $U_m \leq 52$ kV, where doors or covers have to be opened in order to carry out normal operation or maintenance, it may be necessary to provide fixed non-conductive rails as a warning.

8.3 Means to protect persons in case of indirect contact

Measures to be taken in order to protect persons in case of indirect contact are given in Clause 10.

Information on protection against electric shock is given in IEC 61140.

8.4 Means to protect persons working on electrical installations

Electrical installations shall be constructed and installed to ensure that the measures necessary for the protection of persons working in or on electrical installations can be employed. The relevant standards for operation and maintenance of electrical power installations shall also be taken into account. The working procedures shall be agreed upon between the manufacturer and the user.

NOTE Whilst individual functions are considered in separate subclauses, these functions may be combined in a single item of equipment.

8.4.1 Equipment for isolating installations or apparatus

Equipment shall be provided by means of which the complete installation or sections thereof can be isolated, depending on operating requirements.

This may be achieved by disconnectors or switch disconnectors (see 6.2.1) or by disconnecting part of the installation, for example by removing links or cable loops. In the latter case, see 5.4.1.

Installations or parts of installations which can be energized from several sources shall be arranged so that all sources can be isolated from points of supply from which each section or part thereof can be made live.

If the neutral points of several pieces of equipment are connected to a common neutral bus, it shall be possible to isolate each neutral point individually. This also applies to associated earth fault coils and resistors. The overvoltage protection shall be maintained in operational condition.

Where equipment may be charged at some voltage following disconnection from the installation, for example capacitors, devices shall be provided to discharge the system/equipment.

Isolating gaps may only be bridged by insulators if leakage currents from the terminal on one side to the terminal on the other side are prevented.

8.4.2 Devices to prevent reclosing of isolating devices

Suitable devices shall be provided to render inoperative the actuating force (i.e. spring force, air pressure, electrical energy) or the control of power mechanisms used for the operation of switchgear employed for isolating purposes.

NOTE It may be statutory in certain countries that these devices shall be rendered inoperative by suitable locking facilities.

Where removable parts such as fuses or screw-in circuit breakers are used for complete disconnection and are replaced by screw caps or blank inserts, these caps or inserts shall be such that they can only be removed using a suitable tool.

Manually operated switches shall permit the use of mechanical locking devices in order to prevent reconnection to the system following isolation.

8.4.3 Devices for determining the de-energized state

Devices for determining that the equipment is no longer energized, shall be provided, where required, considering operational requirements. The extent of such provisions - wherever practicable - shall be agreed between the supplier and the user.

All devices supplied shall permit the de-energized state to be checked at all points where the work is to be done that have previously been live, without danger for the operational personnel.

Either fixed equipment (see IEC 62271-206) or portable devices (see the IEC 61243 series) can be used to meet this requirement.

8.4.4 Devices for earthing and short-circuiting

Each part of an installation that can be isolated from the system shall be arranged to enable it to be earthed and short-circuited.

Equipment (for example transformers or capacitors) shall be provided with a means of earthing and short-circuiting adjacent to the equipment. This requirement shall not apply to parts of a system where this is not practicable or is unsuitable (for example transformers or electrical machines with flange-mounted cable sealing ends or with cable connection boxes). In these cases, earthing and short-circuiting shall be effected by the application of circuit main earths at the associated switchgear cubicles or bays on the primary and secondary sides. Normally, it should be possible to earth and short-circuit all sides of a transformer, including neutrals.

The following shall be provided for or supplied as earthing and short-circuiting devices, with the scope being agreed between the supplier and the user:

– earthing switches (preferably fault-making and/or interlocked);
– earthing switch trucks;
– earthing equipment integrated with other switching devices e.g. circuit-breakers;
– free earthing rods and short-circuiting equipment (see IEC 61230);
– guided earthing rods and short-circuiting equipment (see IEC 61219).

For each part of an installation, suitably dimensioned and easily accessible connection points shall be provided on the earthing system and on the live parts for connection of earthing and short-circuiting equipment. Switchgear cubicles or bays shall be designed so that connection of the earthing and short-circuiting equipment by hand to the earth terminal point can be carried out in accordance with the rules for carrying out work in the vicinity of live parts.

When earthing and short-circuiting is achieved by remotely controlled earthing switches, the switch position shall be reliably transmitted to the remote control point.

When earthing is achieved through a load-breaking device having control circuits, all control circuits of the load-breaking device shall be made inoperative following the application of the circuit main earth. Inadvertent re-energization of the control circuits shall be prevented.

8.4.5 Equipment acting as protective barriers against adjacent live parts

All boundary elements such as walls, floors, etc. shall be constructed according to 7.2 or 7.3.

If walls or protective facilities do not exist, the separation to neighbouring bays or sections shall respect the appropriate distances.

If working clearances cannot be maintained, live parts in the vicinity of the working area shall be capable of being covered by insertable insulated partitions or walls in such a way that accidental proximity to these parts by body parts, tools, equipment and materials is prevented.

8.4.5.1 Insertable insulated partitions

Movable screens and insertable insulated partitions shall meet the following requirements:

a) the edges of insulating shutters shall not be located within the danger zone;
b) gaps are permissible outside the danger zone:
   – up to 10 mm wide without limitation,
   – up to 40 mm wide provided the distance from the edge of the shutter to the danger zone is at least 100 mm,
   – up to 100 mm wide in the vicinity of disconnector bases.

Insertable insulated partitions used as protective barriers against live parts shall be part of the equipment or provided separately in accordance with operational requirements by agreement between the supplier and the user.

Insertable insulated partitions shall be capable of being secured so that their position cannot be accidentally altered where this would lead to a hazardous condition.

Insertable insulated partitions used as protective barriers against live parts shall not touch or be in contact with live parts.

It shall be possible to install and remove insertable insulated partitions without persons being required to enter the danger zone.

NOTE This can be achieved by the type of insulating shutters (for example angled plate, associated insulating rods, suitable operating rods) or by the installation (for example guide rails).

8.4.5.2 Insertable partition walls

For installations without permanently installed partition walls, suitable insertable partition walls should be provided to isolate adjacent live cubicles or bays in accordance with the operational requirements. When required, the extent shall be agreed upon between the supplier and the user.

Insertable partition walls which enter the danger zone during installation or removal, or which lie within the danger zone when fitted, shall meet the requirement for mobile insulating plates.

Insertable insulated partition walls used as protective barriers against live parts shall not touch or be in contact with live parts.

8.4.6 Storage of personal protection equipment

If personal protection equipment is to be stored in the installation, a place shall be provided for this purpose where the equipment is protected from humidity, dirt and damage whilst remaining readily accessible to operational personnel.

8.5 Protection from danger resulting from arc fault

Electrical installations shall be designed and installed so that personnel are protected as far as practical from arc faults during operation.

The following list of measures to protect against dangers resulting from arc fault shall serve as a guide in the design and construction of electrical installations. The degree of importance of these measures shall be agreed upon between the supplier and user.

a) Protection against operating error, established, for example, by means of the following:
   - load break switches instead of disconnectors,
   - short-circuit rated fault-making switches,
   - interlocks,
   - non-interchangeable key locks.

b) Operating aisles as short, high and wide as possible (see 7.5).

c) Solid covers as an enclosure or protective barrier instead of perforated covers or wire mesh.

d) Equipment tested to withstand internal arc fault instead of open-type equipment (e.g. IEC 62271-200, IEC 62271-203).

e) Arc products to be directed away from operating personnel, and vented outside the building, if necessary.

f) Use of current-limiting devices.

g) Very short tripping time; achievable by instantaneous relays or by devices sensitive to pressure, light or heat.

h) Operation of the plant from a safe distance.

i) Prevention of re-energization by use of non-resettable devices which detect internal equipment faults, enable pressure relief and provide an external indication.

8.6 Protection against direct lightning strokes

Different methods of analysis are available. The method to be used shall be agreed upon between the supplier and user.

The user shall select the level of protection to be achieved, depending on the reliability level required, and the protection method to be used.

NOTE 1 For calculation methods, see for example either Annex E or IEEE Guide 998 [28].

Lightning rods and shield wires shall be earthed.

It is not necessary to equip a steel structure with a separate earthing conductor where it provides a suitable path for the lightning current itself.

Shield wires shall be connected to the steel structure or earthing conductor to ensure that the lightning current flows to earth. For buildings and similar structures, see IEC 62305 series.

For associated standards, IEC 62305-4 should be referred to.

NOTE 2 For technical and economic reasons, damage resulting from lightning strokes cannot be fully prevented.

8.7 Protection against fire

8.7.1 General

Relevant national, provincial and local fire protection regulations shall be taken into account in the design of the installation.

NOTE Fire hazard and fire risk of electrical equipment is separated into two categories: fire victim and fire origin. Precautions for each category should be taken into account in the installation requirements.

a) Precautions to fire victim:

   i) space separation from origin of fire;

   ii) flame propagation prevention:

      – physical layout of the substation,

      – liquid containment,

      – fire barriers (e.g. fire walls with fire resistance of minimum 60 minutes),

      – extinguishing system;

b) Precautions to fire origin:

   i) electrical protection;

   ii) thermal protection;

   iii) pressure protection;

   iv) non-combustible materials.

Care shall be taken that, in the event of fire, the escape and rescue paths and the emergency exits can be used (see 7.1.6).

The user or owner of the installation shall specify any requirement for fire extinguishing equipment.

Automatic devices to protect against equipment burning due to severe overheating, overloading and faults (internal/external) shall be provided, depending on the size and significance of the installation.

Equipment in which there is a potential for sparks, arcing, explosion or high temperature, for example electrical machines, transformers, resistors, switches and fuses, shall not be used in operating areas subject to fire hazard unless the construction of this equipment is such that flammable materials cannot be ignited by them.

If this cannot be ensured, special precautions, for example fire walls, fire-resistant separations, vaults, enclosures and containment, are necessary.

Consideration should be given to separating different sections of switchgear by fire walls. This can be achieved by means of bus ducts which penetrate the fire wall and which connect the sections of the switchgear together.

8.7.2 Transformers, reactors

In the following subclauses, the word 'transformer' represents 'transformers and reactors'.

For the identification of coolant types, see 6.2.2.

IEC 61100 classifies insulating liquids according to fire point and net caloric value (heat of combustion). IEC 60076-11 classifies dry-type transformers in terms of their behaviour when exposed to fire.

The fire hazard associated with transformers of outdoor and indoor installations is dependent on the rating of the equipment, the volume and type of insulating mediums, the type and proximity and exposure of nearby equipment and structures. The use of one or more recognized safeguard measures shall be used in accordance with the evaluation of the risk.

NOTE For definition of risk, see ISO/IEC Guide 51.

Common sumps or catchment tanks, if required, for several transformers shall be arranged so that a fire in one transformer cannot spread to another.

The same applies to individual sumps which are connected to the catchment tanks of other transformers; crushed stone layers, fire protection gratings or pipes filled with fluid can, for example, be used for this purpose. Arrangements which tend to minimize the fire hazard of the escaped fluid are preferred.

8.7.2.1 Outdoor installations

The layout of an outdoor installation shall be such that burning of a transformer with a liquid volume of more than 1 000 l will not cause a fire hazard to other transformers or objects, with the exception of those directly associated with the transformer. For this purpose, adequate clearances, G_1, G_2, shall be necessary. Guide values are given in Table 3. Where transformers with a liquid volume below 1 000 l are installed near walls of combustible material, special fire precautions may be necessary, depending on the nature and the use of the building.

If automatically activated fire extinguishing equipment is installed, the clearance G_1/G_2 can be reduced.

The reduction of distances G_1/G_2 shall be agreed upon between the user and the supplier.

If it is not possible to allow for adequate clearance as indicated in Table 3, fire-resistant separating walls with the following dimensions shall be provided:

a) between transformers (see Figure 6) separating walls. For example EI 60:
   – height: top of the expansion chamber (if any), otherwise the top of the transformer tank;
   – length: width or length of the sump (in the case of a dry-type transformer, the width or length of the transformer, depending upon the direction of the transformer);
b) between transformers and buildings separating walls. For example EI 60; if additional fire separating wall is not provided, fire rating of the building wall should be increased, for example REI 90 (see Figure 7).

NOTE 1 REI represents the bearing system (wall) whereas EI represents the non-load bearing system (wall) where R is the load bearing capacity, E is the fire integrity, I is the thermal insulation and 60/90 refers to fire resistance duration in minutes.

NOTE 2 Definitions of fire resistance are given in EN 13501-2[37].

Table 3 – Guide values for outdoor transformer clearances

Transformer type	Liquid volume	Clearance G_1 to other transformers or building surface of non-combustible material	Clearance G_2 to building surface of combustible material
	l	m	m
Oil insulated transformers (O)	1 000 <....< 2 000	3	7,5
	2 000 ≤....< 20 000	5	10
	20 000 ≤....< 45 000	10	20
	≥ 45 000	15	30
Less flammable liquid insulated transformers (K) without enhanced protection	1 000 <...< 3 800	1,5	7,5
	≥ 3 800	4,5	15

Less flammable liquid insulated transformers (K) with enhanced protection	Clearance G_1 to building surface or adjacent transformers	
	Horizontal m	Vertical m
	0,9	1,5

Dry-type transformers (A)	Fire behaviour class	Clearance G_1 to building surface or adjacent transformers	
		Horizontal m	Vertical m
	F0	1,5	3,0
	F1	None	None

NOTE 1 Enhanced protection means

– tank rupture strength,

– tank pressure relief,

– low-current fault protection,

– high-current fault protection.

For an example of enhanced protection, see Factory Mutual Global standard 3990 [33], or equivalent.

NOTE 2 Sufficient space should be allowed for periodic cleaning of resin-encapsulated transformer windings, in order to prevent possible electrical faults and fire hazard caused by deposited atmospheric pollution.

NOTE 3 Non-combustible materials may be chosen in accordance to EN 13501-1[36].

8.7.2.2 Indoor installation in closed electrical operating areas

Minimum requirements for the installation of indoor transformers are given in Table 4.

Table 4 – Minimum requirements for the installation of indoor transformers

Transformer type	Class	Safeguards
Oil insulated transformers (O)	Liquid volume	
	≤ 1 000 l	EI 60 respectively REI 60
	> 1 000 l	EI 90 respectively REI 90 **or** EI 60 respectively REI 60 and automatic sprinkler protection
Less flammable liquid insulated transformers (K)	Nominal power/max. voltage	
Without enhanced protection	(no restriction)	EI 60 respectively REI 60 **or** automatic sprinkler protection
With enhanced protection	≤ 10 MVA and U_m ≤ 38 kV	EI 60 respectively REI 60 **or** separation distances 1,5 m horizontally and 3,0 m vertically
Dry-type transformer (A)	Fire behaviour class	
	F0	EI 60 respectively REI 60 **or** separation distances 0,9 m horizontally and 1,5 m vertically
	F1	Non combustible walls

NOTE 1 REI represents the bearing system (wall) whereas EI represents the non-load bearing system (wall) where R is the load bearing capacity, E is the fire integrity, I is the thermal insulation and 60/90 refers to fire resistance duration in minutes.

NOTE 2 Definitions of fire resistance are given in EN 13501-2[37].

NOTE 3 Enhanced protection means

– tank rupture strength,

– tank pressure relief,

– low-current fault protection,

– high-current fault protection.

For an example of enhanced protection, see Factory Mutual Global standard 3990 [33], or equivalent.

NOTE 4 Sufficient space should be allowed for periodic cleaning of resin-encapsulated transformer windings, in order to prevent possible electrical faults and fire hazard caused by deposited atmospheric pollution.

Doors shall have a fire resistance of at least 60 min. Doors which open to the outside are adequate if they are of low flammability material. Ventilation openings necessary for the operation of the transformers are permitted in the doors or in adjacent walls. When designing the openings, the possible escape of hot gases shall be considered.

8.7.2.3 Indoor installations in industrial buildings

For all transformers in industrial buildings, fast-acting protective devices which provide immediate automatic interruption in the event of failure are necessary.

Transformers with coolant type O require the same provisions as in 8.7.2.2.

For all other liquid-immersed transformers, no special arrangements in respect of fire protection are required, except for the provisions for liquid retention in case of leakage and the provision of portable fire extinguishing apparatus suitable for electrical equipment.

Dry-type transformers (A) require the selection of the correct fire behaviour class depending on the activity of the industry and on the material present in the surroundings. Fire extinguishing provisions are advisable, particularly for class F0.

NOTE For all transformers in industrial buildings, additional fire precautions may be necessary, depending on the nature and use of the building.

8.7.2.4 Indoor installations in buildings which are permanently occupied by persons

In high-voltage installations, located in public or residential buildings, special conditions shall be observed in accordance with existing standards or national regulations.

8.7.2.5 Fire in the vicinity of transformers

If there is an exceptional risk of the transformer being exposed to external fire, consideration shall be given to

– fire-resistant separating walls;
– gas-tight vessels capable of withstanding the internal pressure generated;
– controlled release of the hot liquid;
– fire extinguishing systems.

8.7.3 Cables

The danger of the spread of fire and its consequences shall be reduced, as far as possible, by selecting suitable cables and by the method of installation.

The cables may be assessed by reference to the following categories:

– cables without particular fire performance characteristics;
– cables (single) with resistance to flame propagation (IEC 60332 series);
– cables (bunched) with resistance to flame propagation (IEC 60332 series);
– cables with low emission of smoke (IEC 61034-1);
– cables with low emission of acidic and corrosive gases (IEC 60754-1 and IEC 60754-2);
– cables with fire-resisting characteristics (IEC 60331-21 or IEC 60331-1).

Cables in trenches and buildings shall be laid in such a way that the regulations regarding fire safety of the building are not adversely affected. For example, to avoid fire propagation, holes through which the cables go from one room to another shall be sealed with suitable material.

A physical separation or different routing of power circuits from the control circuits for high-voltage equipment is recommended if it is necessary to preserve the integrity of the latter as long as possible following damage to the power circuits.

Where necessary, a fire alarm and fire extinguishing systems shall be installed in cable tunnels and in cable racks in the basement of control buildings.

8.7.4 Other equipment with flammable liquid

For all equipment, such as switchgear which contains more than 100 l of flammable liquid in each separate compartment, special fire precautions as specified for transformers may be necessary, depending on the nature and use of the installation and its location.

8.8 Protection against leakage of insulating liquid and SF_6

8.8.1 Insulating liquid leakage and subsoil water protection

8.8.1.1 General

Measures shall be taken to contain any leakage from liquid-immersed equipment so as to prevent environmental damage. National and/or local regulations may specify the minimum quantity of liquid contained in an equipment for which containment is required. As a guideline,

where no national and/or local regulations exist, containment should be provided around liquid-immersed equipment containing more than 1 000 l (according to IEEE 980: 2 500 l).

NOTE In all cases, local regulations should be taken into account and approvals obtained when required.

8.8.1.2 Containment for indoor equipment

In indoor installations, spills of insulating liquid may be contained by providing impermeable floors with thresholds around the area where the equipment is located or by collecting the spilled liquid in a designated holding area in the building (see Figure 11).

The volume of the insulating liquid in the equipment as well as any volume of water discharging from a fire protection system shall be considered when selecting height of threshold or volume of the holding area.

8.8.1.3 Containment for outdoor equipment

The quantity of insulating liquid in equipment, the volume of water from rain and fire protection systems, the proximity to water courses and soil conditions shall be considered in the selection of a containment system.

NOTE 1 Containments (sumps) around liquid immersed equipment and/or holding tanks (catchment tanks) are extensively used to prevent escape into the environment of insulating liquid from equipment.

Containments and holding tanks, where provided, may be designed and arranged as follows:

– tanks;
– sump with integrated catchment tank for the entire quantity of fluid (Figure 8);
– sump with separate catchment tank. Where there are several sumps, the drain pipes may lead to a common catchment tank; this common catchment tank shall then be capable of holding the fluids of the largest transformer (Figure 9);
– sump with integrated common catchment tank for several transformers, capable of holding the fluids of the largest transformer (Figure 10).

The walls and the associated pipings of sumps and catchment tanks shall be impermeable to liquid.

The capacity of the sumps/catchment tanks for insulating and cooling fluids shall not be unduly reduced by water flowing in. It shall be possible to drain or to draw off the water.

A simple device indicating the level of liquid is recommended.

Attention shall be paid to the danger of frost.

The following additional measures shall be taken for protection of waterways and of ground water:

– the egress of insulating and cooling fluid from the sump/tank/floor arrangement shall be prevented (for exceptions, see 8.8.1.1);
– drained water should pass through devices for separating the fluids; for this purpose, their specific weights shall be taken into account.

For outdoor installations, it is recommended that the length and width of the sump be equal to the length and width of the transformer plus 20 % of the distance between the highest point of the transformer (including the conservator) and the upper level of the containment on each side.

NOTE 2 IEEE 980 recommends that the spill containment extends a minimum 1 500 mm beyond any liquid-filled part of the equipment.

State and regional laws and regulations shall be taken into account.

8.8.2 SF_6 leakage

Recommendations for use and handling of SF_6 gas are given in IEC/TR 62271-303.

To cover the unlikely event of an abnormal leakage, ventilation shall be provided in the switchgear room and in other accessible locations where the accumulation of gas may present a hazard. In case of outdoor installation, no special precautions are needed.

In rooms with SF_6 installations, which are above ground, natural venting is sufficient if the gas volume of the largest compartment at atmospheric pressure does not exceed 10 % of the volume of the accessible switchgear room. If this demand cannot be fulfilled, mechanical ventilation shall be installed.

In rooms with SF_6 installations which are below ground on all sides, mechanical ventilation shall be provided if gas quantities which pose an intolerable risk to the health and safety of personnel (see note below) are capable of collecting in terms of gas quantity versus size of the room.

Chambers, ducts, pits, shafts, etc., situated below SF_6 installation rooms and connected to them, shall have the possibility of being ventilated.

To guarantee that no thermal decomposition of SF_6 present in the atmosphere can occur the following provisions shall be made:

- no parts of any equipment installed in the switchgear room which are in contact with air shall exceed a temperature of 200 °C;
- when filling of equipment is carried out during erection on site (not sealed systems) measures should be taken to prevent smoking, open fire and welding in the working areas.

NOTE For maximum SF_6 concentration, national regulations should be considered.

8.8.3 Failure with loss of SF_6 and its decomposition products

Recommendations for use and handling of SF_6 gas are given in IEC/TR 62771-303.

NOTE Guidance has been issued by CIGRE 23-04 [29].

8.9 Identification and marking

8.9.1 General

Clear identification and unambiguous marking are required to avoid incorrect operation, human error, accidents, etc. while operation and maintenance are carried out (see also 7.1.7).

Signs, boards and notices shall be made of durable and non-corrosive material and printed with indelible characters.

The operational state of switchgear and controlgear shall be clearly shown by indicators except when the main contacts can clearly be viewed by the operator.

Cable terminations and components shall be identified. Relevant details making identification possible in accordance with a wiring list or diagram shall be provided.

8.9.2 Information plates and warning plates

In closed electrical operating areas and in industrial buildings, all electrical equipment rooms shall be provided, on the outside of the room and on each access door, with necessary information identifying the room and pointing out any hazards.

The colours and contrasting colours shall comply with IEC standards or national regulations.

8.9.3 Electrical hazard warning

All access doors to closed electrical operating areas, all sides of outer perimeter fences and masts, poles and towers with a transformer or switching device shall be provided with a warning sign.

The signs shall comply with IEC standards or national regulations.

8.9.4 Installations with incorporated capacitors

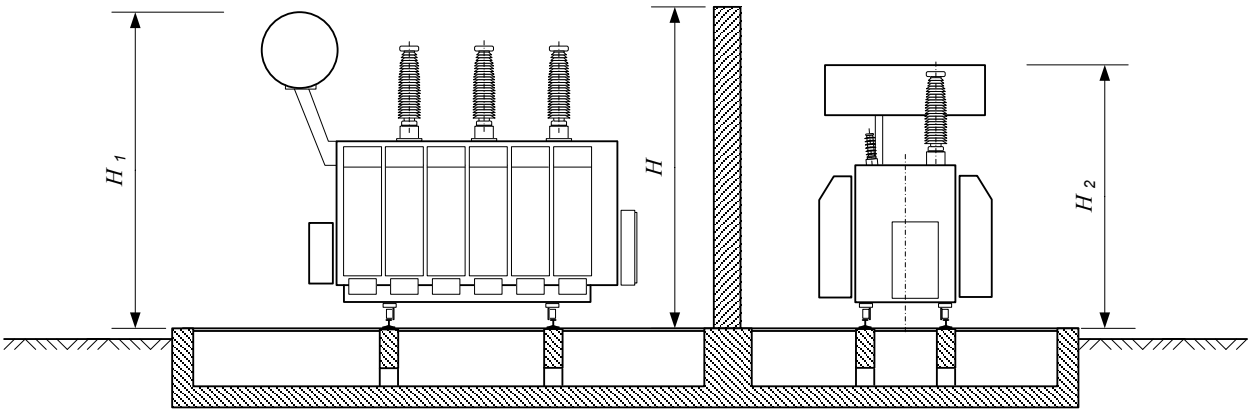
The capacitors shall be provided with a warning label indicating the discharge time.

8.9.5 Emergency signs for emergency exits

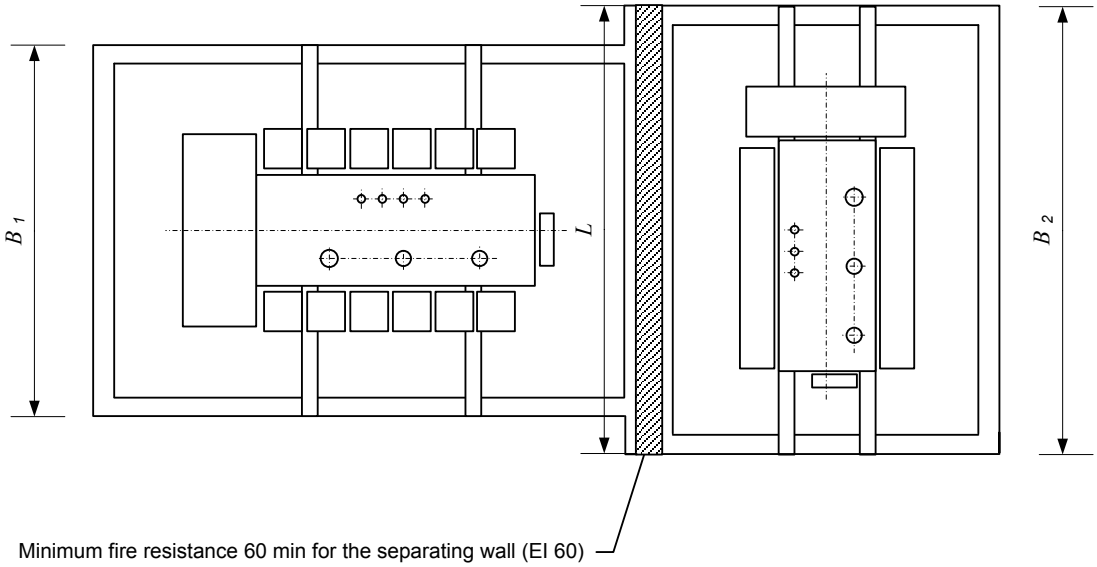
Emergency exits shall be indicated by the appropriate safety warning sign. The signs shall comply with IEC standards or national regulations.

8.9.6 Cable identification marks

The position where cables enter buildings should be identified. Identification marks shall not be placed on removable covers or doors that could be interchanged.



$H \geq H_1$ (with $H_1 > H_2$)
$L \geq B_2$ (with $B_2 > B_1$)



IEC 1869/10

Figure 6 – Separating walls between transformers

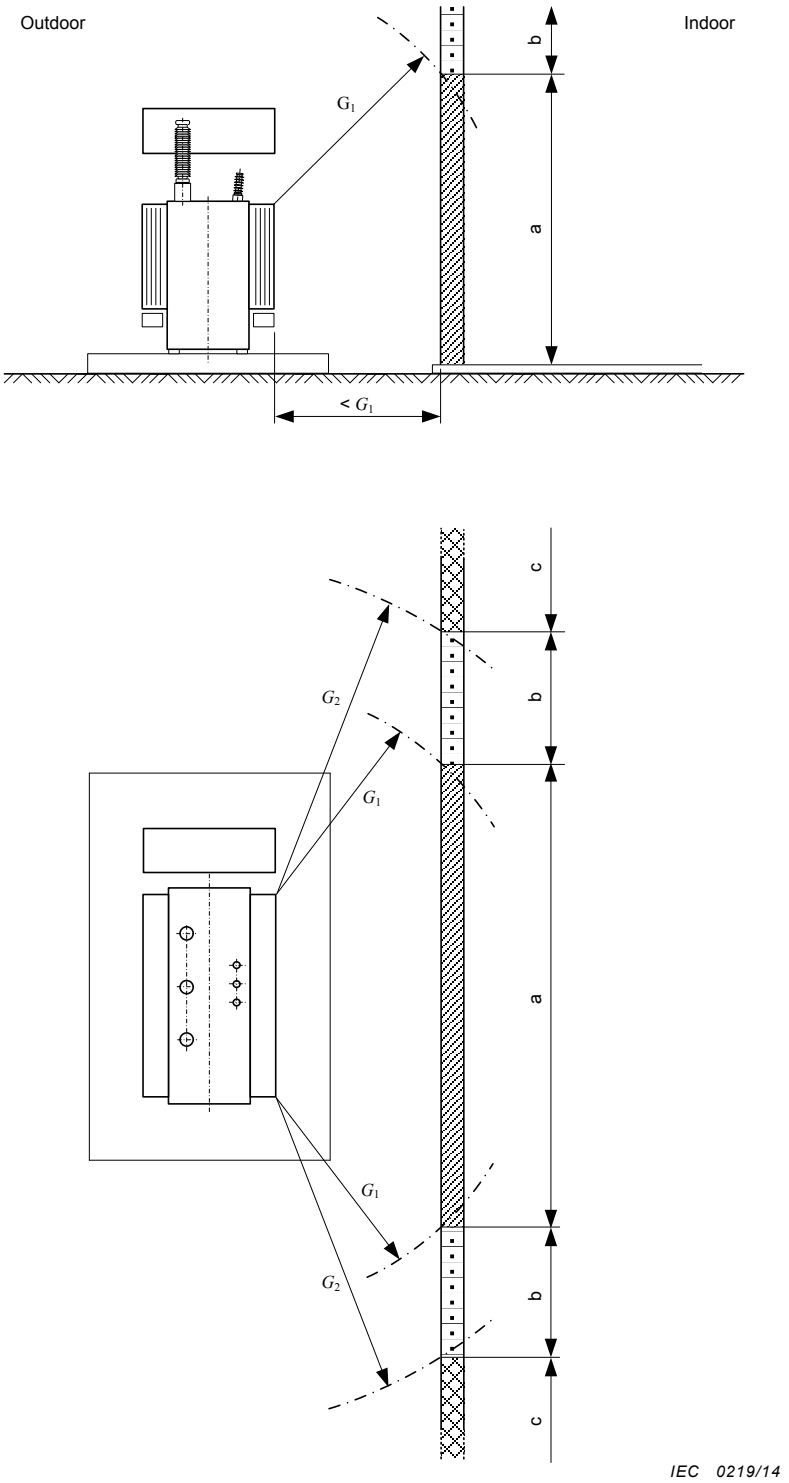


Figure 7a) Fire protection between transformer and building surface of non-combustible material

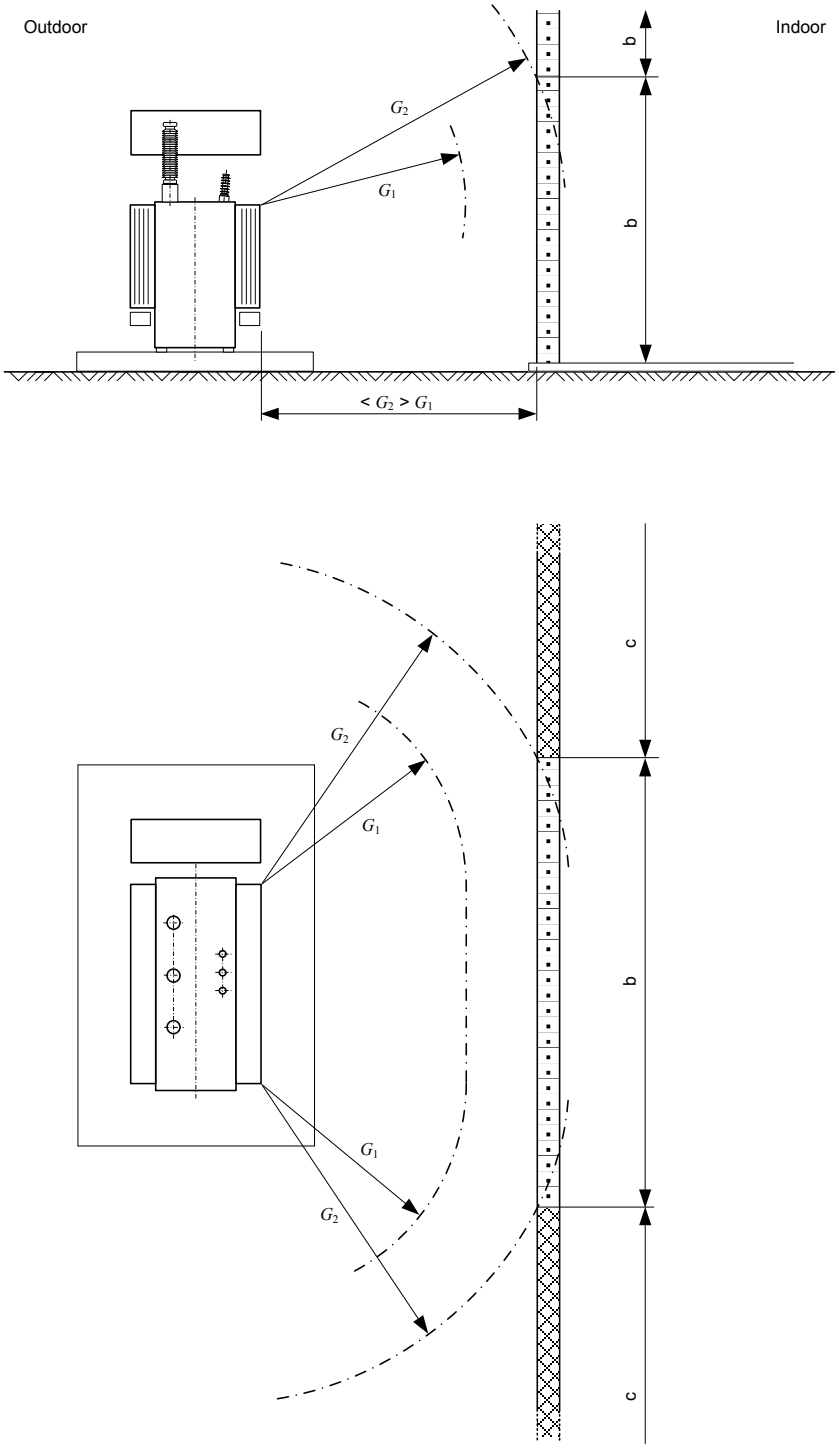


Figure 7b) Fire protection between transformer and building surface of combustible material

Key

For Clearances G_1 and G_2, see Table 3

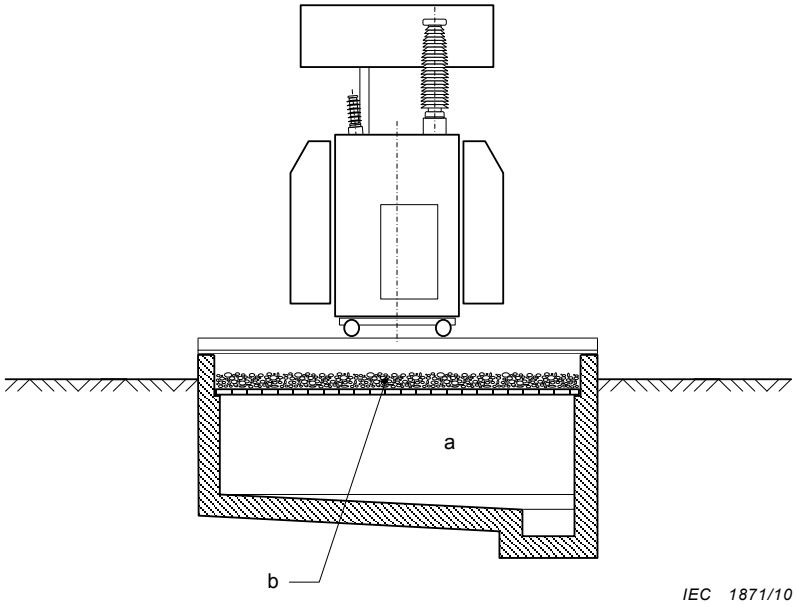
Sector a The wall in this area shall be designed with a minimum fire resistance of 90 min (REI 90)

Sector b The wall in this area shall be designed with non combustible materials

Sector c No fire protection requirements

NOTE Due to the risk of vertical fire spread sector c applies only in the horizontal direction.

Figure 7 – Fire protection between transformer and building



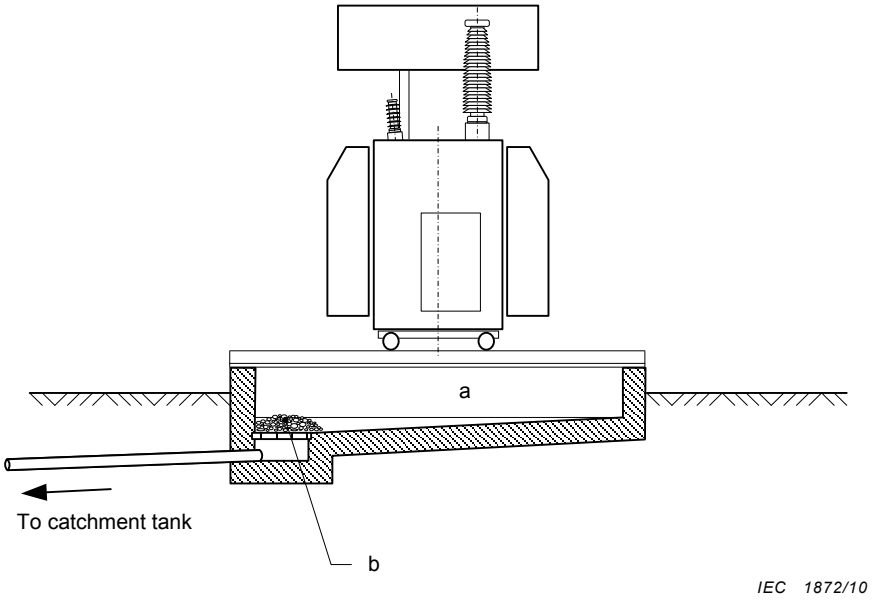
Key

a Containment: the entire quantity of fluid of the transformer plus rain water

b For information concerning fire protection gratings or fire blocking outlets, see 8.7.2.

NOTE In addition, the water from the fire-extinguishing installation (if any) should be considered.

Figure 8 – Sump with integrated catchment tank

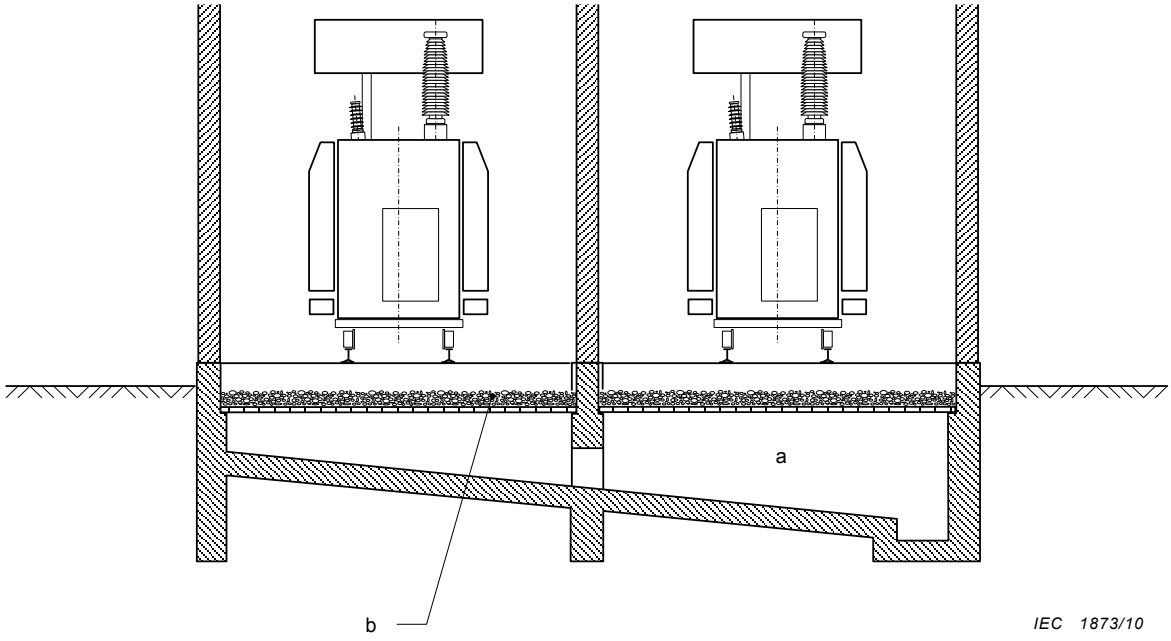


Key

a Containment: minimum 20 % of the fluid from the transformer

b For information concerning fire protection gratings or fire blocking outlets, see 8.7.2.

Figure 9 – Sump with separate catchment tank



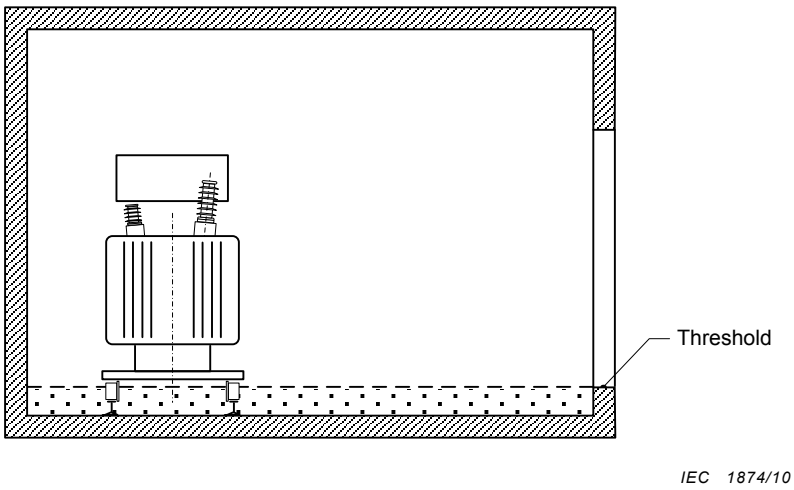
Key

a Containment outdoor: the entire quantity of fluid of the largest transformer plus rain water
Containment indoor: the entire quantity of fluid of the largest transformer

b For information concerning fire protection gratings or fire blocking outlets, see 8.7.2.

NOTE In addition, the water from the fire-extinguishing installation (if any) should be considered.

Figure 10 – Sump with integrated common catchment tank



NOTE The dotted area denotes the volume of the entire quantity of insulating fluid of the transformer spilled on the floor.

Figure 11 – Example for small transformers without gravel layer and catchment tank

9 Protection, control and auxiliary systems

9.1 Monitoring and control systems

Monitoring, protection, regulating and control devices shall be provided, as necessary, for the correct and safe functioning of the equipment.

Automatic devices, designed to offer selectivity and quick operation, shall provide protection against the effects of unacceptable overload and internal and external faults appropriate to the size and significance of installation.

Consideration shall be given for protection against the following effects:

– overcurrent, short-circuit and earth fault;
– overload and thermal effect;
– overvoltage;
– undervoltage;
– underfrequency.

Protection coordination studies shall be conducted as agreed between the user and supplier in order to determine the setting of protective devices. Back-up protection shall be considered for short-circuit protection and also for earth fault protection when clearing of earth faults is required.

Low-frequency conditions generally indicate power system problems. For installations supplied by a power system, low-frequency disconnection devices may be required in accordance with local regulations or power system requirements. For installations having their own independent power supply, consideration should be given to implementing load shedding to prevent total loss of power during disturbances.

Investigations shall be performed to determine possible overvoltages during operating conditions. Protection shall be installed where overvoltages may exceed tolerance limits of the installed equipment.

The effects of undervoltages on the operation of electrical equipment shall be considered. Devices to detect undervoltages shall be provided where necessary in order to initiate automatic transfers to an alternative supply, or to disconnect the equipment to prevent incorrect operation or damage from occurring.

Equipment shall comply with the severity class (see IEC 60255 series) corresponding to the part of the installation in which it is located.

Facilities shall be provided for isolating the control circuit of each primary switching equipment or each switchgear bay in order to allow maintenance of high-voltage equipment to be performed safely.

Provision shall be made to allow for repair, maintenance, and/or testing to be carried out on protection and control devices without any danger to personnel or the equipment.

Control circuits and signalling circuits shall, preferably, be functionally separated. Tripping signals shall be displayed on the protection panel if it exists.

Alarm and fault-indicating equipment shall clearly indicate danger and fault conditions; several signals can be combined as a common signal to be transmitted to a remote control point.

The control equipment and system, including cables and cords, shall be designed and installed to minimize the possibility of damage to the connected equipment due to electromagnetic interference. Basic rules are given in 9.6.

The control equipment and system, including cables and cords, shall be designed and installed in such a way that they minimize the danger from operating failure, inadvertent operation or incorrect information. In meeting this requirement, influences such as voltage dips, supply failure, insulation faults and electromagnetic interference effects shall be taken into account.

The actuating elements for the control of a switchgear shall be designed and installed in such a way that accidental actuation is avoided.

Where a remote control is available, local/remote control selection shall be provided at the local operating position (i.e. at or in the close vicinity of the switches).

The control circuit of switching devices operated remotely or automatically shall be provided with suitable means near the device to prevent accidental operation during planned outages.

When required, the monitoring and control system shall implement load shedding, emergency shut down, automatic transfer and network reconfiguration, motor re-acceleration and re-starting, etc. in order to maintain safe operating conditions during electrical system disturbances.

For safety reasons, it is recommended that hard-wired interfaces to industrial process control equipment be designed such that maintenance of the process control circuits can be carried out without accessing high-voltage equipment, for example by using interposing relays installed in a separate cubicle.

9.2 DC and AC supply circuits

9.2.1 General

Auxiliary power supply systems shall be designed for the permitted voltage fluctuation range and suitable power capacity which is required by the equipment for control and auxiliary systems.

Low-voltage a.c. and d.c. systems shall be designed in accordance with the IEC 60364 series.

Auxiliary switchboards shall be provided to separate and protect the various auxiliary circuits.

A voltage loss or failure in the supply circuit should initiate a signal to a control location.

Power supply systems may be categorized into essential and non-essential groups. Essential supplies should be continuously available without any interruption, whereas non-essential ones may be allowed to be subject to interruptions.

9.2.2 AC supply

For supplies belonging to the essential group, such as the supplies to a computerized control system, or the supplies to any equipment whose interruption might cause a hazardous condition after a transient loss of power, the provision of a suitable UPS (uninterruptible power supply) is recommended.

Some equipment (e.g. SF_6-breaker heaters) may require the provision of changeover power supplies.

9.2.3 DC supply

DC supply units shall be capable of supplying power to all permanent d.c. loads and to the loads associated with essential operations. This may be achieved by choosing an appropriate number of independent units of sufficient capacities.

It is recommended that d.c. supply units such as batteries and chargers be provided with instruments for monitoring voltage and current.

DC batteries shall be sized to provide power for operation of an electrical installation during total loss of a.c. station services. The most probable duration of a.c. station services loss shall be evaluated to allow proper sizing and selection of d.c. batteries.

Sizing of batteries shall be based on worst case scenarios that might cause a total loss of a.c. station services (i.e. total blackout, fault on a major bus in the installation, etc.). As a minimum, the d.c. batteries shall have enough capacity to trip breakers and switches at the beginning of the discharge period, to supply power to the continuous d.c. load and to close the elements of the installation that will restore a.c. services.

Battery banks with exposed live parts shall be kept in a room or cubicle accessible only to authorized personnel.

Battery rooms or cubicles shall be dry and adequately ventilated to limit hydrogen accumulation. Allowable hydrogen levels and recommended number of air changes shall conform to national regulations.

An easy means of escape from battery rooms shall be provided. Eyewash stations or personal protective equipment shall be provided, preferably located outside the battery room and close to the battery room door.

Battery banks shall preferably be isolated from control rooms to prevent the spread of fumes and to prevent accidental contact.

Where the risk of explosion cannot be avoided, explosion-protected equipment shall be used (see IEC 60079-0).

The risk of explosion due to combustion of gas mixtures in the presence of an open flame or glowing parts shall be indicated by means of corrosion-resistant, legible signs of suitable size.

Notwithstanding the ventilation provided, rooms containing open type lead batteries shall be considered as locations with corrosive environments. Walls, ceilings and floors shall meet the requirements for protection against corrosion and gaseous products. Means shall be provided to prevent corrosive substances from entering any drainage systems.

9.3 Compressed air systems

Compressed air systems shall be designed to comply with the appropriate legislative rules regarding pressure vessels and pressurized systems.

Instruments and alarms shall be provided to ensure safe and reliable operation of the compressed air system.

The compressed air system shall be capable of providing air of relative humidity appropriate to the type and operating pressure of the equipment to be supplied under all environmental conditions. Where necessary drying equipment shall be provided.

Compressed air systems shall be designed so that water can be drained from all receivers or other points where it may collect during operation.

The compressed air system shall be designed to operate at its maximum and minimum capacity over the full range of environmental conditions to be expected for the associated switchgear and/or system. Adequate compressor cooling shall be provided as well as suitable protection to allow intermittent operation under freezing conditions.

Pressure vessels and pipelines shall be protected against corrosion internally and externally.

The function of various components of the compressed air system shall be clearly indicated on the equipment. Different pressures shall be identified on pipework, vessels and diagrams by a method acceptable to the purchaser.

The compressed air system shall be provided with sufficient points of isolation and drainage to allow sectionalization for maintenance in accordance with the operating and safety rules of the user.

Pipes which are permanently under pressure shall be protected against damage due to direct arcing.

All controls of the compressed air system which have to be used during operation shall be arranged so that they are safely accessible.

9.4 SF_6 gas handling plants

Where gas has to be handled and retrieved, a gas service unit shall be provided to transfer gas to and from gas-filled equipment in order to permit maintenance on the primary equipment. This gas service unit shall be capable of evacuating and storing the largest quantity of gas specified and of evacuating the largest volume specified to the vacuum level and refilling to the highest filling pressure specified by the manufacturer. The design and capacity of the gas service unit shall be determined in agreement between supplier and user.

The gas service unit shall also be capable of extracting air at atmospheric pressure from the largest volume specified to the vacuum level specified by the manufacturer. The gas service unit shall be capable of returning gas to the equipment and recycling used gas through filters.

NOTE Guidance on handling of plants containing SF_6 is given in IEC 60480 and IEC 62271-303.

9.5 Hydrogen handling plants

The hydrogen-cooled generator, or synchronous condenser and its hydrogen cooling system shall be installed in the following way.

– The structure of the generator or synchronous condenser and its hydrogen cooling system shall be leak-tight and capable of preventing the mixture of hydrogen and air.
– The generator, synchronous condenser, hydrogen pipes, valves and other fittings in the hydrogen system shall be capable of withstanding the explosion of hydrogen at atmospheric pressure.
– The generator plant shall be provided with a device through which hydrogen gas can be purged to the open air safely when hydrogen leaks out the generator shaft seal.
– A device capable of introducing hydrogen safely into the generator or synchronous condenser and also a device capable of expelling hydrogen safely out of the generator or synchronous condenser shall be installed.
– An instrument shall be provided which detects abnormal conditions of the equipment and gives a warning.

9.6 Basic rules for electromagnetic compatibility of control systems

9.6.1 General

This subclause deals with the protection of control circuits against electromagnetic interference.

9.6.2 Electrical noise sources in high voltage installations

Interferences may be transmitted into HV installations by means of conduction, capacitive coupling, induction or radiation.

a) High frequency interferences are produced by
   - switching in primary circuits,
   - lightning strokes on overhead lines or on grounded components of high voltage installations,
   - operation of surge arresters with gaps,
   - switching in secondary circuits,
   - high frequency radio transmitters,
   - electrostatic discharges.

b) Low frequency interferences are produced by
   - short-circuits,
   - earth faults,
   - electromagnetic fields generated by equipment (busbars, power cables, reactances, transformers, etc.)

Protection against interference is based on two general principles:

– reduction of the penetration of electromagnetic fields into the equipment;
– establishment of equal potential between every piece of equipment and the earthing system.

9.6.3 Measures to be taken to reduce the effects of high frequency interference

The recommendations listed below are the most important ones for reducing the effects of high frequency electromagnetic interference:

a) suitable construction of instrument transformers (voltage transformers, current transformers), effective shielding between primary and secondary winding, testing of high frequency transmission behaviour;
b) protection against lightning strokes;
c) improvement of the earthing system and earthing connections (see 10.3.3);
d) shielding of secondary circuit cables:
   - shields should be continuous;
   - shields should have a low resistance (a few ohms per kilometre);
   - shields should have a low coupling impedance within the interference frequency range;
   - earthing of the shields should be as short as possible;
   - the shields should be earthed at both ends and intermediate points where possible;
   - the shields should be earthed at their entry to the control cabinets so that the currents circulating in the shields do not affect the unshielded circuits. Connections should preferably be circular by using suitable cable glands or a welding procedure;

e) grouping of circuits: in order to reduce the differential mode overvoltages, the incoming and outgoing wires associated to a same function should be grouped within the same cable. As far as possible, control cables should be segregated from other cables.

9.6.4 Measures to be taken to reduce the effects of low frequency interference

The recommendations listed below are the most important ones for reducing the effects of low-frequency electromagnetic interference.

a) Measures concerning cable laying:
   - separation of control cables from power cables by using spacing or different routes;
   - power cables in trefoil formation should be preferred to a flat formation;
   - as far as possible, cable routes should not be parallel to bus bars or power cables;
   - control cables should be laid away from inductances and single-phase transformers.

b) Measures concerning the circuit arrangement:
   - loops should be avoided;
   - for d.c. auxiliary supply circuits, a radial configuration is preferable to a ring configuration;
   - the protection of two different d.c. circuits by the same miniature circuit-breaker should be avoided;
   - parallel connection of two coils located in separate cubicles should be avoided;
   - all wires of the same circuit should be located in the same cable. When different cables have to be used, they should be laid in the same route.

c) Twisted pairs cables are recommended for low level signals.

9.6.5 Measures related to the selection of equipment

The installation shall be divided into different zones, each of them corresponding to a specific class of environment (see 4.4).

In each zone, equipment shall be selected in accordance with the associated class of environment.

Where necessary the following measures shall be taken in the internal circuitry:

a) metallic isolation of the I/O signal circuits;

b) installation of filters on auxiliary power supply circuits;

c) installation of voltage-limiting devices such as
   - capacitor or RC circuits;
   - low voltage surge arresters;
   - zener diodes or varistors;
   - transzorb diodes.

These devices shall be installed inside the protection and control equipment.

Additional measures concerning gas-insulated switchgear.

d) Connection of concrete reinforcement grids to the earthing system at various points, especially in the floor (see Clause 10).

e) Adequate earthing for power frequency and transient effects at the GIS/air-bushings and GIS-tubes. This is achieved by multiple connections between the enclosure and the building wall (to the reinforcement grid or metallic cladding) and multiple connections between the wall and earthing system.

f) Adequate design and testing of secondary equipment concerning their immunity against electrical transients.

9.6.6 Other possible measures to reduce the effects of interference

The recommendations listed below supplement, when applicable, the previous recommendations:

– installation of control cables in metallic cable ducts is recommended. Continuity and earthing of ducts should be ensured along their whole length;

– where possible, installation of cables along metallic surfaces;

– use of optical fibre cables with appropriate equipment.

10 Earthing systems

10.1 General

This clause provides the criteria for design, installation, testing and maintenance of an earthing system such that it operates under all conditions and ensures the safety of human life in any place to which persons have legitimate access. It also provides the criteria to ensure that the integrity of equipment connected and in proximity to the earthing system is maintained.

10.2 Fundamental requirements

10.2.1 Safety criteria

The hazard to human beings is that a current will flow through the region of the heart which is sufficient to cause ventricular fibrillation. The current limit, for power-frequency purposes is derived from the appropriate curve in IEC/TS 60479-1:2005. This body current limit is translated into voltage limits for comparison with the calculated step and touch voltages taking into account the following factors:

– proportion of current flowing through the region of the heart;

– body impedance along the current path;

– resistance between the body contact points and e.g. metal structure to hand including glove, feet to remote ground including shoes or gravel;

– fault duration.

It must also be recognized that fault occurrence, fault current magnitude, fault duration and presence of human beings are probabilistic in nature.

The earthing design parameters (relevant fundamental requirements, e.g. fault current, fault duration) shall be agreed between user and supplier.

For installation design, the curve shown in Figure 12 is calculated according to the method defined in Annex B.

NOTE The curve is based on data extracted from IEC/TS 60479-1:2005:

– body impedance from Table 1 of IEC/TS 60479-1:2005 (not exceeded by 50 % of the population),

– permissible body current corresponding to the c2 curve in Figure 20 and Table 11 of IEC/TS 60479-1:2005 (probability of ventricular fibrillation is less than 5 %),

– heart current factor according to Table 12 of IEC/TS 60479-1:2005.

The curve in Figure 12, which gives the permissible touch voltage, should be used. Annex C shows the IEEE 80 curve which can be used as an alternative to the curve in Figure 12.

As a general rule, meeting the touch voltage requirements satisfies the step voltage requirements, because the tolerable step voltage limits are much higher than touch voltage limits due to the different current path through the body.

For installations where high-voltage equipment is not located in closed electrical operating areas, e.g. in an industrial environment, a global earthing system should be used to prevent touch voltages resulting from HV faults exceeding the low voltage limit given in IEC 60364-4-41 (e.g. 50 V) [17].

10.2.2 Functional requirements

The earthing system, its components and bonding conductors shall be capable of distributing and discharging the fault current without exceeding thermal and mechanical design limits based on backup protection operating time.

The earthing system shall maintain its integrity for the expected installation lifetime with due allowance for corrosion and mechanical constraints.

Earthing system performance shall avoid damage to equipment due to excessive potential rise, potential differences within the earthing system and due to excessive currents flowing in auxiliary paths not intended for carrying parts of the fault current.

The earthing system, in combination with appropriate measures, shall maintain step, touch and transferred potentials within the voltage limits based on normal operating time of protection relays and breakers.

The earthing system performance shall contribute to ensuring electromagnetic compatibility (EMC) among electrical and electronic apparatus of the high-voltage system in accordance with IEC/TR 61000-5-2.

10.2.3 High and low voltage earthing systems

Where high- and low-voltage earthing systems exist in proximity to each other and do not form a global earthing system, part of the EPR from the HV system can be applied on the LV system. Two practices are presently used:

a) interconnection of all HV with LV earthing systems;

b) separation of HV from LV earthing systems.

In either case, the relevant requirements concerning step, touch and transfer potentials specified below shall be complied with within a substation and at a LV installation supplied from that substation.

NOTE Interconnection is preferred when practicable.

10.2.3.1 LV supply only within HV substations

Where the LV system is totally confined within the area covered by the HV earthing system, both earthing systems shall be interconnected even if there is no global earthing system.

10.2.3.2 LV supply leaving or coming to HV substations

Full compliance is ensured if the earthing system of the HV installation is part of a global earthing system or connected to a multi-earthed HV neutral conductor in a balanced system. If there is no global earthing system the minimum requirements of Table 5 shall be used to identify those situations where interconnection of earthing systems with low-voltage supply outside the high-voltage installation is feasible.

If high-voltage and low-voltage earthing systems are separate, the method of separating earth electrodes shall be chosen such that no danger to persons or equipment can occur in the low-voltage installation. This means that step, touch and transfer potentials and stress voltage in the LV installation caused by a high-voltage fault are within the appropriate limits.

10.2.3.3 LV in the proximity of HV substations

Special consideration should be given to LV systems which are located in the zone of influence of the HV substation earthing system.

For industrial and commercial installations a common earthing system can be used. Due to the close proximity of equipment it is not possible to separate earthing systems.

Table 5 – Minimum requirements for interconnection of low-voltage and high-voltage earthing systems based on EPR limits

Type of LV system [a, b]		EPR requirements		
		Touch voltage	Stress voltage [c]	
			Fault duration $t_f \leq 5$ s	Fault duration $t_f > 5$ s
TT		Not applicable	EPR ≤ 1 200 V	EPR ≤ 250 V
TN		EPR ≤ $F \cdot U_{Tp}$ [d, e]	EPR ≤ 1 200 V	EPR ≤ 250 V
IT	Distributed protective earth conductor	As per TN system	EPR ≤ 1 200 V	EPR ≤ 250 V
	Protective earth conductor not distributed	Not applicable	EPR ≤ 1 200 V	EPR ≤ 250 V

a For definitions of the type of LV systems, see IEC 60364-1.

b For telecommunication equipment, the ITU recommendations should be used.

c Limit may be increased if appropriate LV equipment is installed or EPR may be replaced by local potential differences based on measurements or calculations.

d If the PEN or neutral conductor of the low-voltage system is connected to earth only at the HV earthing system, the value of F shall be 1.

e U_{Tp} is derived from Figure 12

NOTE The typical value for F is 2. Higher values of F may be applied where there are additional connections of the PEN conductor to earth. For certain soil structures, the value of F may be up to 5. Caution is necessary when this rule is applied in soils with high resistivity contrast where the top layer has a higher resistivity. The touch voltage in this case can exceed 50 % of the EPR.

10.3 Design of earthing systems

10.3.1 General

Design of an earthing system can be accomplished as follows:

a) data collection, e.g. earth fault current, fault duration and layout;

b) initial design of the earthing system based on the functional requirements;

c) determine if it is part of a global earthing system;

d) if not, determine soil characteristics e.g. specific soil resistivity of layers;

e) determine the current flowing into earth from the earthing system, based on earth fault current;

f) determine the overall impedance to earth, based on the layout, soil characteristics, and parallel earthing systems;

g) determine earth potential rise;

h) determine permissible touch voltage;

i) if the earth potential rise is below the permissible touch voltage and the requirements of Table 5 are met the design is complete;

j) if not, determine if touch voltages inside and in the vicinity of the earthing system are below the tolerable limits;

k) determine if transferred potentials present a hazard outside or inside the electrical power installation; if yes, proceed with mitigation at exposed location;

l) determine if low-voltage equipment is exposed to excessive stress voltage; if yes, proceed with mitigation measures which can include separation of HV and LV earthing systems;

Once the above criteria have been met, the design can be refined, if necessary, by repeating the above steps. Detailed design is necessary to ensure that all exposed conductive parts, are earthed. Extraneous conductive parts shall be earthed, if appropriate.

A flowchart of this design process is given in Annex D.

The structural earth electrode shall be bonded and form part of the earthing system. If not bonded, verification is necessary to ensure that all safety requirements are met.

Metallic structures with cathodic protection may be separated from the earthing system. Precautions, such as labelling, shall be taken to ensure that when such measures are taken, maintenance work or modifications will not inadvertently nullify them.

10.3.2 Power system faults

The objective is to determine the worst case fault scenario for every relevant aspect of the functional requirements, as these may differ. The following types of fault shall be examined at each voltage level present in the installation:

a) three phases to earth;

b) two phases to earth;

c) single phase to earth;

d) if applicable: phase to phase via earth (cross-country earth fault).

Faults within and outside the installation site shall be examined to determine the worst fault location.

10.3.3 Lightning and transients

Lightning and switching operations are sources of high- and low-frequency currents and voltages. Surges typically occur when switching long cable sections, operating GIS disconnectors or carrying out back-to-back capacitor switching. Successful attenuation requires sufficient electrode density at injection points to deal with high-frequency currents, together with an earthing system of sufficient extent to deal with low-frequency currents. The HV earthing system shall form part of the lightning protection system and additional earthing conductors may be required at injection points.

Relevant electromagnetic compatibility and lightning standards shall be used to address specific aspects related to the transient performance of the earthing system and its components.

When an industrial or commercial installation includes more than one building or location, the earthing system of each shall be interconnected. Since during surges such as lightning strokes, there will be a large difference in potential between the earthing systems of each building and location in spite of the interconnection, measures shall be taken to prevent damage to sensitive equipment connected between different buildings or locations. Where possible non-metallic media, such as fibre optic cable, should be used for the exchange of low-level signals between such locations.

10.4 Construction of earthing systems

Where construction work involves an existing earthing system, protective measures shall be taken to ensure the safety of persons during fault conditions.

10.5 Measurements

Measurements shall be carried out after construction, where necessary, to verify the adequacy of the design. Measurements may include the earthing system impedance, prospective touch and step voltages at relevant locations and transferred potential, if appropriate. When measuring touch and step voltages under test conditions, e.g current injection test, two choices are possible. Either measure the prospective touch and step voltages using a high impedance voltmeter or measure the effective touch and step voltages appearing across an appropriate resistance which represents the human body.

10.6 Maintainability

10.6.1 Inspections

The construction of the earthing system shall be carried out in a way that the condition of the earthing system can be examined periodically by inspection. Excavating at selective locations and visual inspection are appropriate means which shall be considered.

10.6.2 Measurements

Design and installation of the earthing system shall allow measurements to be carried out periodically or following major changes affecting fundamental requirements, or even for continuity tests.

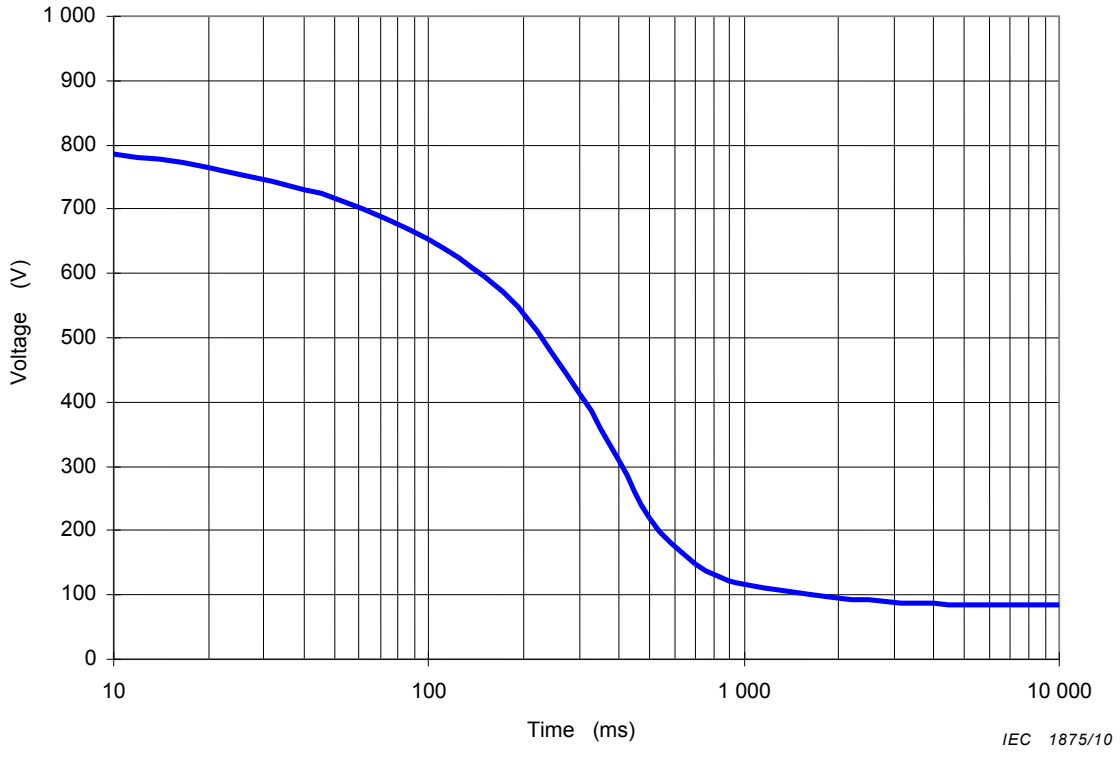


Figure 12 – Permissible touch voltage U_{Tp}

11 Inspection and testing

11.1 General

Inspections and tests shall be carried out to verify compliance of the installation with this standard and compliance of the equipment with the applicable technical specifications.

The following shall be subject to agreement between the supplier and the user:

– the extent of the inspection and testing;
– which specifications are applicable;
– the extent and type of documentation provided.

NOTE Specific tests on site for factory-built and type-tested equipment and for factory-built assemblies are indicated and are based on IEC standards.

Verification may be achieved by the following methods:

a) visual inspections;
b) functional tests;
c) measuring.

Inspections and tests on parts of power installations may be carried out after delivery as well as when the installation has been completed.

Typical activities that are usually carried out are, for example:

- verification of characteristics of the equipment (including rated values) for the given operating conditions;
- verification of minimum clearances between live parts and between live parts and earth;
- power frequency voltage test for switchgear;
- voltage test for cables;
- verification of minimum heights and of protective barrier clearances;
- visual inspections and/or functional tests of electrical equipment and parts of installation;
- functional tests and/or measuring of protective, monitoring, measuring and controlling devices;
- inspection of markings, safety signs and safety devices;
- verification of correct fire ratings for buildings/enclosures;
- verification that emergency exits are operational;
- verification of the earthing system.

11.2 Verification of specified performances

Tests will, in general, be carried out on the various items of equipment comprising an installation at appropriate stages of the contract to ultimately verify performance of the installation. The tests required, their conditions and organization are to be defined. This may include definition of the provision of site services, personnel, etc.

11.3 Tests during installation and commissioning

The user and supplier shall agree on the requirements (methods and acceptance criteria) for tests during installation and commissioning, together with a listing of the testing standards to be applied. This may include functional tests to demonstrate the ability of the equipment to satisfy the operational requirements, such as automatic start-up and shutdown.

The test equipment for demonstration of achievement of design requirements should be agreed between the user and supplier.

The user and supplier shall agree on a schedule of tests for components and systems during the installation and commissioning period. The necessary services to allow the tests to be carried out should be agreed between the parties.

NOTE The contractual consequences of the outcome of the tests during installation and commissioning should be stated in the enquiry, where appropriate.

11.4 Trial running

When agreed between the user and supplier, a trial run shall be performed. The purpose of the trial run is to prove the functional capability of the high-voltage installation. During the run, therefore, all significant components should be in operation.

The agreement should define under what circumstances a breakdown of a significant component constitutes an interruption of the trial. The user may also give exception criteria for breakdowns of a very short period, for example simply extending the period of the trial by the outage time.

The conditions that have to be met for the successful completion of the trial run should be defined in the enquiry.

NOTE The contractual consequences of the outcome of the trial run should be stated in the enquiry, where appropriate.

12 Operation and maintenance manual

Each installation should have an operation manual describing the normal, emergency, and maintenance procedures as well as safety instructions for the operation of the high-voltage electrical installation.

For the preparation of manuals and instructions, IEC 82079-1 applies.

Each installation should have a set of up-to-date drawings and operating diagrams on the premises. These drawings and diagrams should allow operation and maintenance personnel to provide safe and efficient interventions in the installation.

Manufacturers of major components of an installation should provide operation and maintenance manuals and test and in-service reports. These documents should be readily available for use when necessary.

Emergency routes to the nearest hospital and emergency phone numbers should be displayed in a visible location in the installation.

Annex A
(normative)

Values of rated insulation levels and minimum clearances based on current practice in some countries

Table A.1 – Values of rated insulation levels and minimum clearances in air for 1 kV < U_m ≤ 245 kV for highest voltage for installation U_m not standardized by the IEC based on current practice in some countries

Voltage range	Highest voltage for installation	Rated short-duration power-frequency withstand voltage	Rated lightning impulse withstand voltage [a]	Minimum phase-to-earth and phase-to-phase clearance N	
	U_m r.m.s.	U_d r.m.s.	U_p 1,2/50 µs peak value	Indoor installations	Outdoor installations
	kV	kV	kV	mm	mm
I	2,75	15	30	60	120
			45	70	120
			60	90	120
	4,76	19	60	90	120
	5,5	19	45	70	120
			60	90	120
			75	120	120
	8,25	27	60	90	120
			75	120	150
			95	160	160
	8,25	26	75	120	150
		35	95	160	160
	15	35	95	160	160
		50	110	180	180
	15,5	35	75	120	150
			85	150	160
			110	180	180
	17,5	38	110	180	
			125	220	
	24	50	150	280	
	25	50	95	190	290
			125	210	
			150		
	25,8	50	125	220	
		70	150	280	
	27	50	95	160	
			125	220	
			150	280	

[a] The rated lightning impulse is applicable phase-to-phase and phase-to-earth.

Table A.2 – Values of rated insulation levels and minimum clearances in air for 1 kV < U_m ≤ 245 kV for highest voltage for installation U_m not standardized by IEC based on current practice in some countries

Voltage range	Highest voltage for installation	Rated short-duration power-frequency withstand voltage	Rated lightning impulse withstand voltage [a]	Minimum phase-to-earth and phase-to-phase clearance N	
	U_m r.m.s.	U_d r.m.s.	U_p 1,2/50 µs peak value	Indoor installations	Outdoor installations
	kV	kV	kV	mm	mm
I	30	70	160	290	
	36	70	200	380	
	38	70	125	220	
			150	280	
			200	360	
	38	70	150	280	
		95	200	360	
	38,5	75	155	270	400
			180	320	
			195		
	40,5	80	190	350	
	41,5	80	170	320	
			200	360	
	48,3	105	150	280	
			200	360	
			250	480	
	48,3	120	250	480	
	72,5	160	350	690	
	82,5	150	380	750	
	100	150	380	750	
		185	450	900	
	204	275	650	1 300	
		325	750	1 500	

[a] The rated lightning impulse is applicable to phase-to-phase and phase-to-earth.

Table A.3 – Values of rated insulation levels and minimum clearances in air for U_m > 245 kV for highest voltages for installation U_m not standardized by IEC based on current practice in some countries

Voltage range	Highest voltage for installation	Rated short-duration power-frequency withstand voltage	Rated lightning impulse withstand voltage[a]	Rated switching impulse withstand voltage	Minimum phase-to-earth clearance		Rated switching impulse withstand voltage	Minimum phase-to-phase clearance	
	U_m r.m.s.	U_d r.m.s.	U_p 1,2/50 µs peak value	U_p Phase-to-earth 250/2 500 µs peak value	Conductor – structure	Rod – structure N	U_p Phase-to-phase 250/2 500 µs peak value	Conductor – conductor parallel	Rod – conductor
	kV	kV	kV	kV	mm		kV	mm	
II	362	520	1 300	950	2 400	2 900	1 425	3 100	3 600
	550	680	1 800	1 175		4 000			6 500
	550	710	1 800	1 175	3 300	4 100	2 210	6 100	7 400
	550	775	1 800	1 175	3 350	3 650		4 600	5 200
	550	635	1 300 1 425 1 550 1 800			5 800			5 800

[a] The rated lightning impulse is applicable phase-to-phase and phase-to-earth.

Annex B
(normative)

Method of calculating permissible touch voltages

Formula:

$$U_{\mathrm{Tp}} = I_{\mathrm{B}}(t_{\mathrm{f}}) \cdot \frac{1}{HF} \cdot Z_{\mathrm{T}}(U_{\mathrm{T}}) \cdot BF$$

Factors:

Touch voltage	U_{T}	
Permissible touch voltage	U_{Tp}	
Fault duration	t_{f}	
Body current limit	$I_{\mathrm{B}}(t_{\mathrm{f}})$	c2 in Figure 20 and Table 11 of IEC/TS 60479-1:2005, where probability of ventricular fibrillation is less than 5 %. I_{B} depends on fault duration
Heart current factor	HF	Table 12 of IEC/TS 60479-1:2005, i.e. 1,0 for left hand to feet, 0,8 for right hand to feet, 0,4 for hand to hand
Body impedance	$Z_{\mathrm{T}}(U_{\mathrm{T}})$	Table 1 and Figure 3 of IEC/TS 60479-1:2005 ZT not exceeded by 50 % of the population ZT depends on touch voltage. Therefore first calculation has to start with assumed level
Body factor	BF	Figure 3 of IEC/TS 60479-1:2005, i.e. 0,75 for hand to both feet, 0,5 for both hand to feet

NOTE 1 Different touch voltage conditions, e.g. left hand to feet, hand to hand, lead to different tolerable touch voltages. Figure 4 of this standard is based on a weighted average taken from four different touch voltage configurations. Touch voltage left hand to feet (weighted 1,0), touch voltage right hand to feet (weighted 1,0), touch voltage both hand to feet (weighted 1,0) and touch voltage hand to hand (weighted 0,7).

NOTE 2 Different parameter values are applicable for some countries (as indicated in the Foreword).

For specific consideration of additional resistances the formula to determine prospective permissible touch voltage becomes:

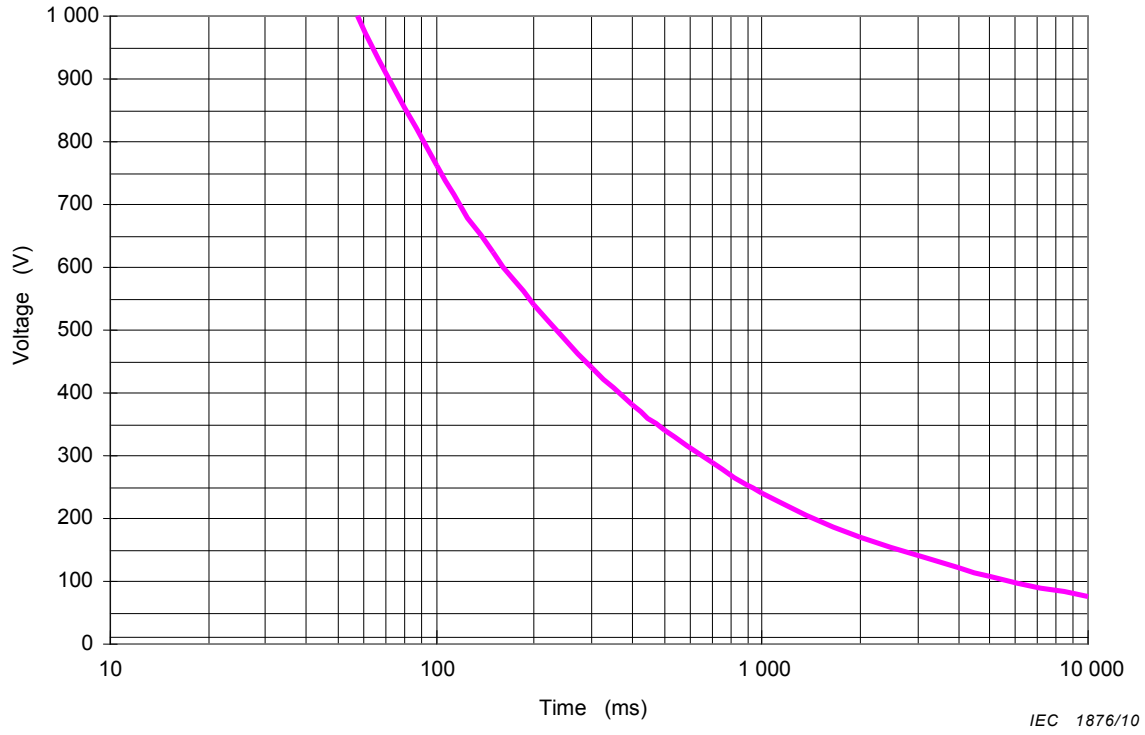
$$U_{\mathrm{vTp}} = I_{\mathrm{B}}(t_{\mathrm{f}}) \cdot \frac{1}{HF} \cdot \left(Z_{\mathrm{T}}(U_{\mathrm{T}}) \cdot BF + R_{\mathrm{H}} + R_{\mathrm{F}}\right)$$

Additional factors:

Prospective permissible touch voltage	U_{vTp}
Additional hand resistance	R_{H}
Additional foot resistance	R_{F}

Annex C
(normative)

Permissible touch voltage according IEEE 80



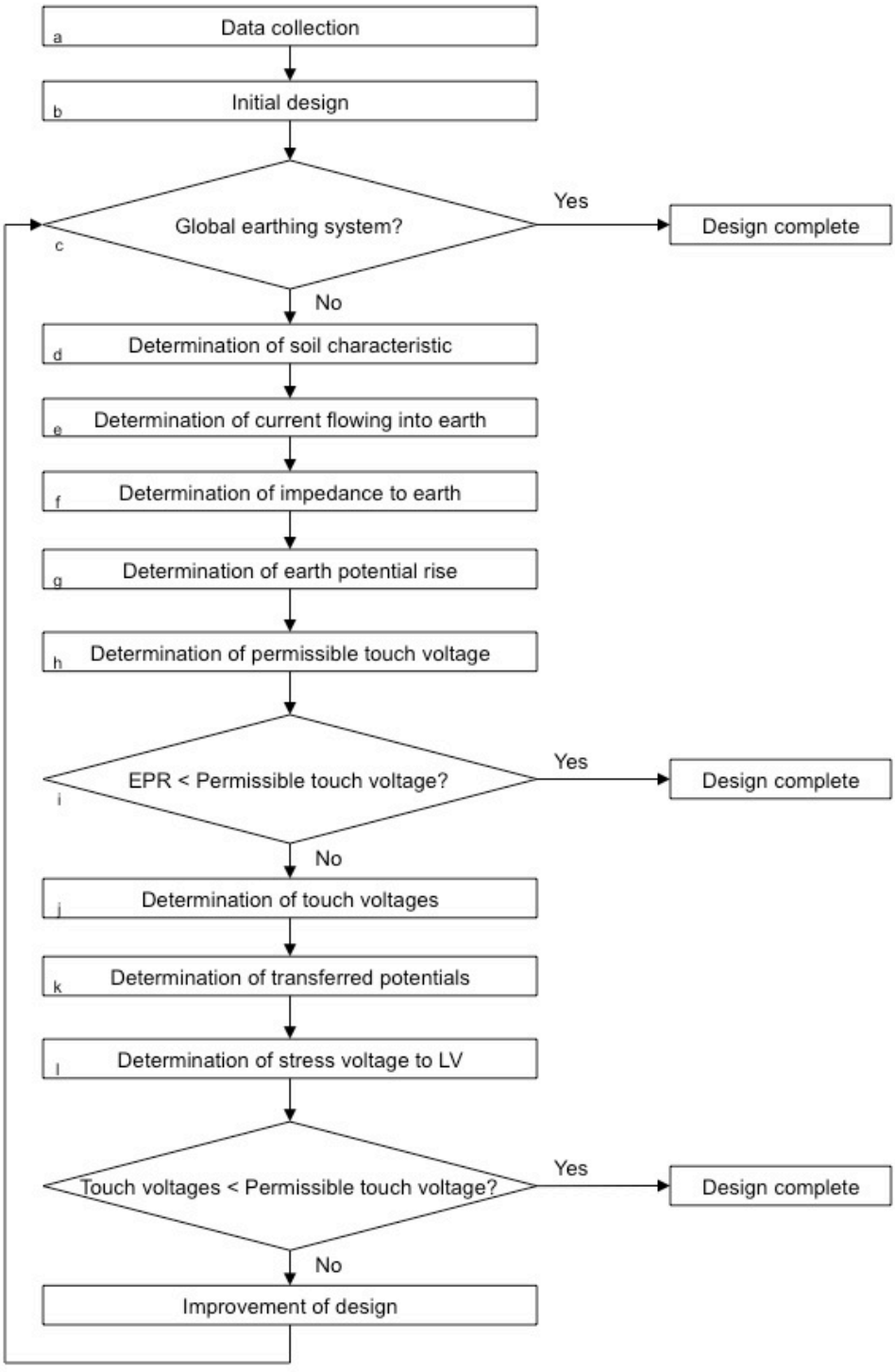
NOTE 1 The touch voltage curve is based on a specific soil resistivity of 100 Ωm and a surface layer of 0,1 m with a specific resistivity of 1 000 Ωm.

NOTE 2 Figure C.1 assumes a person weighing 50 kg and a gravel surface.

Figure C.1 – Permissible touch voltage U_{Tp} according IEEE 80

Annex D
(normative)

Earthing system design flow chart



Annex E
(informative)

Protection measures against direct lightning strokes

E.1 General

Model tests, measurements, observation and experience over many years have shown that direct lightning strokes can be avoided with a high degree of certainty by using the following arrangements of lightning conductors or rods. The protection zones shown in Figures E.1 through E.4 are valid for installations up to a height H of 25 m. For heights exceeding 25 m the protection zone is reduced.

NOTE The height of 25 m corresponds to a 420 kV network structure.

The following method supplies a sufficient protection level but without detailed studies of insulation coordination.

E.2 Shield wires

A single shield wire provides a tent-shaped protection zone, the limits of which are formed by arcs with a radius of 2 H beginning at the shield wire peak (see Figure E.1) and following the length of the wire.

Two shield wires at a distance of less than or equal to 2 H apart provide an extension of the protection zone which is limited by the two conductors, an arc of radius R and centre M_R at a height 2 H (see Figure E.2).

This zone is continuous all along the span of conductors.

E.3 Lightning rods

Upward streamer discharges develop earlier from lightning rods than from shield wires.

The protection zone of a lightning rod is generally larger than that of a shield wire at the same height.

A single lightning rod provides a cone-shaped protection zone with limits of an arc of radius 3 H passing through the tip of the lightning rod (refer to Figure E.3).

Two lightning rods at a spacing of less or equal than 3 H provide an extension of the protection zone which is limited by an arc of radius R with the centre M_R at a height of 3 H passing through the tips of the lightning rods (see Figure E.4).

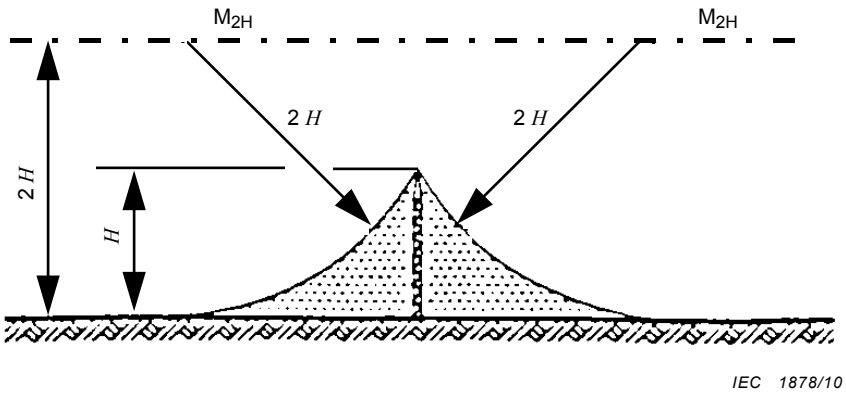


Figure E.1 – Single shield wire

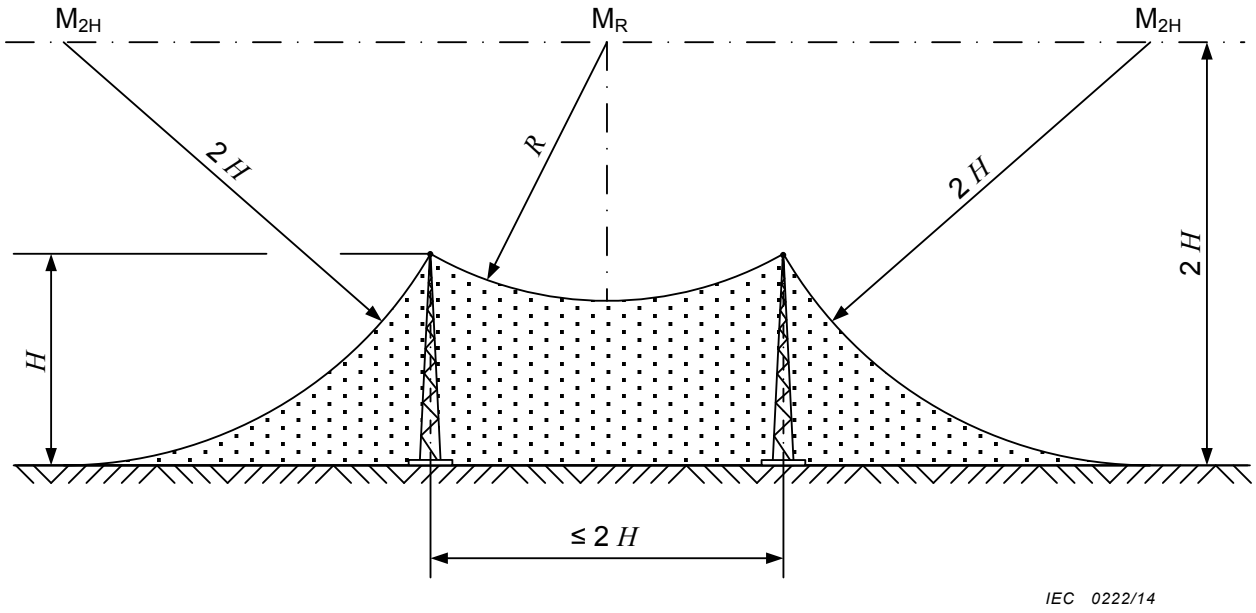


Figure E.2 – Two shield wires

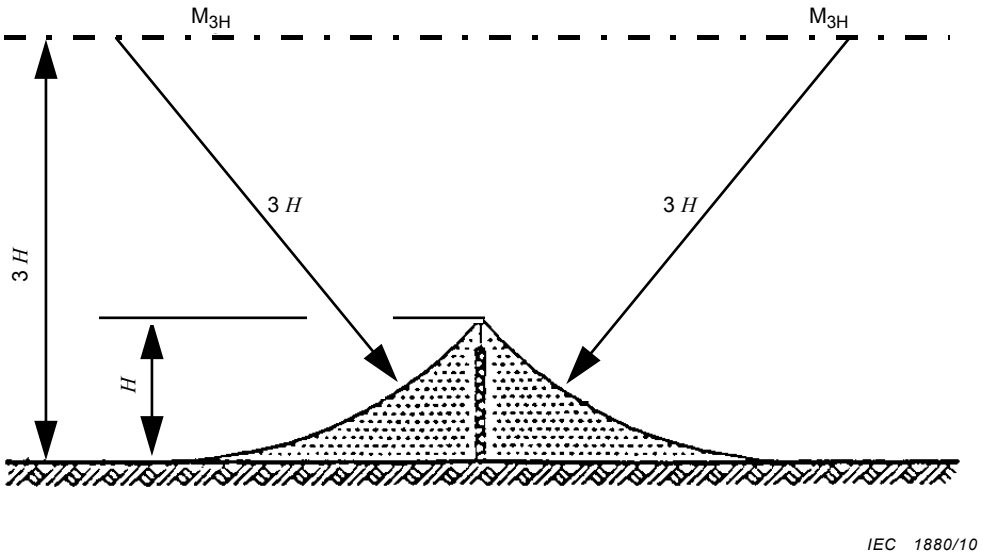


Figure E.3 – Single lightning rod

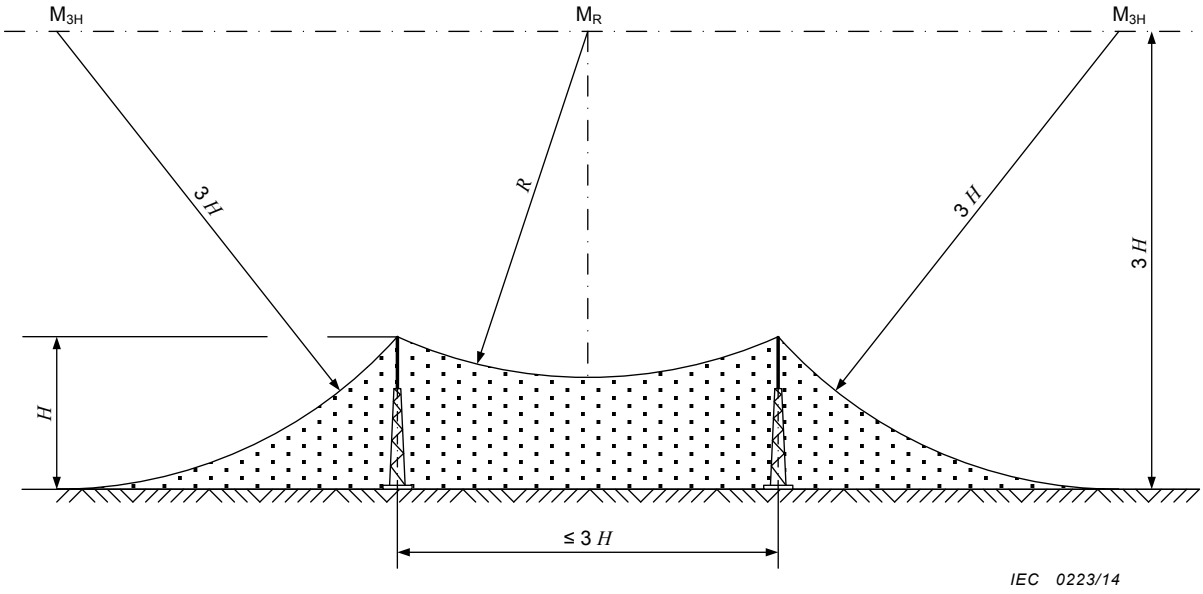


Figure E.4 – Two lightning rods

Bibliography

[1] CISPR 18-1, *Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment – Part 1: Description of phenomena*

[2] CISPR 18-2, *Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment – Part 2: Methods of measurement and procedure of determining limits*

[3] CISPR 18-3, *Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment – Part 3: Code of practice for minimizing the generation of radio noise*

[4] IEC 60038, *IEC standard voltages*

[5] IEC 60044-6, *Instrument transformers – Part 6: Requirements for protective current transformers for transient performance*

[6] IEC 60050-151, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 151: Electrical and magnetic devices*

[7] IEC 60050-195, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 195: Earthing and protection against electric shock*

[8]]IEC 60050-411, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 411: Rotating machines*

[9] IEC 60050-441, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*

[10] IEC 60050-601, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*

[11] IEC 60050-602, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 602: Generation, transmission and distribution of electricity – Generation*

[12] IEC 60050-604, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 604: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation*

[13] IEC 60050-605, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 605: Generation, transmission and distribution of electricity – Substations*

[14] IEC 60050-651, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 651: Live working*

[15] IEC 60050-826, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 826: Electrical installations*

[16] IEC 60068 (all parts), *Environmental testing*

[17] IEC 60364-4-41, *Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock*

[18] IEC 60480, *Guidelines for the checking and treatment of sulphur hexafluoride (SF_6) taken from electrical equipment and specification for its re-use*

[19] IEC 60664-1, *Insulation co ordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

[20] IEC 60721-2-2, *Classification of environmental conditions – Part 2-2: Environmental conditions appearing in nature – Precipitation and wind*

[21] IEC 60721-2-3, *Classification of environmental conditions – Part 2-3: Environmental conditions appearing in nature – Air pressure*

[22] IEC 60721-2-4, *Classification of environmental conditions – Part 2-4: Environmental conditions appearing in nature – Solar radiation and temperature*

[23] IEC 62271-100, *High voltage switchgear and controlgear – Part 100: High-voltage alternating current circuit-breakers*

[24] IEC 62271-102, *High voltage switchgear and controlgear – Part 102: High-voltage alternating current disconnectors and earthing switches*

[25] IEC 62271-103*, High voltage switchgear and controlgear – Part 103: Switches for rated voltages above 1 kV and less than 52 kV*

[26] IEC 62271-104, *High voltage switchgear and controlgear – Part 104: Switches for rated voltages of 52 kV and above*

[27] IEC 62271-105, *High voltage switchgear and controlgear – Part 105: Alternating current switch-fuse combinations*

[28] IEEE Guide 998:1996, IEEE Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations

[29] CIGRE Report 23-04:1972, Handling of SF_6 and its decomposition products in gas insulated switchgear

[30] CIGRE Report 23-07:1991, Adaptation of substations to their environment both in urban and rural areas, including noise problems and oil pollution of subsoil

[31] CIGRE Guide No. 234: August 2003, SF6 Recycling Guide (Revision 2003)

[32] CIGRE Guide No. 276: August 2005, Guide for the preparation of customized 'Practical SF6 Handling Instructions'

[33] Factory Mutual Global Standard 3990, 06/1997: Approval standard for Less or Nonflammable Liquid Insulated Transformers

[34] IEC 60092 (all parts), *Electrical installations in ships*

[35] IEC 61892 (all parts), *Mobile and fixed offshore units – Electrical installations*

[36] EN 13501-1, *Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using data from reaction to fire tests*

[37] EN 13501-2, *Fire classification of construction products and building elements – Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services*

_____

SOMMAIRE

SOMMAIRE 104
AVANT-PROPOS 109
INTRODUCTION 113
1 Domaine d'application 114
2 Références normatives 115
3 Termes et définitions 118
3.1 Définitions générales 118
3.2 Définitions concernant les installations 120
3.3 Définitions concernant les types d'installations 121
3.4 Définitions concernant les mesures de protection contre les chocs électriques 121
3.5 Définitions concernant les espaces libres 122
3.6 Définitions concernant la commande et la protection 123
3.7 Définitions concernant la mise à la terre 123
4 Exigences fondamentales 127
4.1 Généralités 127
4.1.1 Exigences générales 127
4.1.2 Accords entre fournisseur (constructeur) et utilisateur 128
4.2 Exigences électriques 129
4.2.1 Méthodes de mise à la terre du neutre 129
4.2.2 Classification des tensions 130
4.2.3 Courant en fonctionnement normal 130
4.2.4 Courant de court-circuit 130
4.2.5 Fréquence assignée 130
4.2.6 Effet couronne 130
4.2.7 Champs électriques et magnétiques 131
4.2.8 Surtensions 131
4.2.9 Harmoniques 131
4.3 Exigences mécaniques 131
4.3.1 Matériels et structures de support 131
4.3.2 Charge de tension mécanique 132
4.3.3 Charge de mise en œuvre 132
4.3.4 Charge de glace 132
4.3.5 Charge due au vent 132
4.3.6 Efforts dus aux manœuvres 132
4.3.7 Forces de court-circuit 132
4.3.8 Perte de la tension mécanique d'un conducteur 133
4.3.9 Charges sismiques 133
4.3.10 Dimensionnement des structures de support 133
4.4 Conditions climatiques et environnementales 133
4.4.1 Généralités 133
4.4.2 Conditions normales 134
4.4.3 Conditions particulières 135
4.5 Exigences particulières 136
4.5.1 Effets dus à la présence de petits animaux et micro-organismes 136
4.5.2 Niveau de bruit 136
4.5.3 Transport 137

5 Isolement 137
5.1 Généralités 137
5.2 Choix du niveau d'isolement 137
5.2.1 Considération relative aux méthodes de mise à la terre du neutre 137
5.2.2 Considération relative aux tensions assignées de tenue au choc 137
5.3 Vérification des valeurs de tenue au choc 137
5.4 Espaces libres minimaux des parties actives 138
5.4.1 Généralités 138
5.4.2 Espaces libres minimaux dans la plage de tensions I 138
5.4.3 Espaces libres minimaux dans la plage de tensions II 138
5.5 Espaces libres minimaux entre les parties dans des conditions spéciales 141
5.6 Zones de connexion soumises à essai 141
6 Matériels 141
6.1 Exigences générales 141
6.1.1 Choix 141
6.1.2 Conformité 141
6.1.3 Sécurité du personnel 142
6.2 Exigences spécifiques 142
6.2.1 Dispositifs de coupure 142
6.2.2 Transformateurs de puissance et réactances 143
6.2.3 Appareillage préfabriqué soumis à un essai de type 143
6.2.4 Transformateurs de mesure 143
6.2.5 Parafoudres 144
6.2.6 Condensateurs 144
6.2.7 Circuits-bouchons 145
6.2.8 Isolateurs 145
6.2.9 Câbles isolés 145
6.2.10 Conducteurs et accessoires 148
6.2.11 Machines électriques tournantes 148
6.2.12 Générateurs 149
6.2.13 Connexions principales du générateur 149
6.2.14 Convertisseurs statiques 150
6.2.15 Fusibles 150
6.2.16 Interverrouillage électrique et mécanique 150
7 Installations 151
7.1 Exigences générales 151
7.1.1 Agencement des circuits 151
7.1.2 Documentation 152
7.1.3 Voies de circulation 152
7.1.4 Allées et zones d'accès 152
7.1.5 Eclairage 152
7.1.6 Sécurité opérationnelle 153
7.1.7 Etiquetage 153
7.2 Installations extérieures de conception libre 153
7.2.1 Espaces libres des barrières de protection 154
7.2.2 Espaces libres des obstacles de protection 154
7.2.3 Espaces libres de séparation 154
7.2.4 Hauteur minimale au-dessus de la zone d'accès 154
7.2.5 Distances des bâtiments 155

7.2.6 Clôtures ou murs extérieurs et portes d'accès 155
7.3 Installations ouvertes en bâtiment 156
7.4 Installation de l'appareillage préfabriqué soumis à essai de type 156
7.4.1 Généralités 156
7.4.2 Exigences supplémentaires relatives aux appareillages à gaines métalliques à isolement au gaz (GIS) 157
7.5 Exigences relatives aux bâtiments 158
7.5.1 Introduction 158
7.5.2 Dispositions structurelles 158
7.5.3 Salles des appareillages 160
7.5.4 Zones de maintenance et d'exploitation 160
7.5.5 Portes 160
7.5.6 Evacuation des liquides isolants 161
7.5.7 Climatisation et ventilation 161
7.5.8 Bâtiments qui exigent un examen particulier 162
7.6 Postes préfabriqués à haute tension/basse tension 162
7.7 Installations électriques sur mât, pylône et tour 162
8 Mesures de sécurité 168
8.1 Généralités 168
8.2 Protection contre les contacts directs 168
8.2.1 Mesures de protection contre les contacts directs 168
8.2.2 Exigences de protection 169
8.3 Dispositions de protection des personnes contre le contact indirect 170
8.4 Dispositions de protection des personnes travaillant sur des installations électriques 170
8.4.1 Matériel pour l'isolement des installations ou des appareils 170
8.4.2 Dispositifs pour empêcher le réenclenchement des dispositifs de sectionnement 171
8.4.3 Dispositifs de vérification de l'absence de tension 171
8.4.4 Dispositifs de mise à la terre et en court-circuit 171
8.4.5 Matériels agissant comme barrières de protection contre les parties actives voisines 172
8.4.6 Stockage de l'équipement de protection individuelle 173
8.5 Protection contre les dangers provenant d'un défaut d'arc 173
8.6 Protection contre les coups de foudre directs 174
8.7 Protection contre l'incendie 174
8.7.1 Généralités 174
8.7.2 Transformateurs, réactances 175
8.7.3 Câbles 179
8.7.4 Autres matériels contenant un liquide inflammable 180
8.8 Protection contre les fuites de liquide isolant et de gaz SF_6 180
8.8.1 Fuites de liquide isolant et protection de la nappe phréatique 180
8.8.2 Fuite de gaz SF_6 181
8.8.3 Défaillance avec perte de gaz SF_6 et de ses produits de décomposition 182
8.9 Identification et marquage 182
8.9.1 Généralités 182
8.9.2 Plaques d'identification et plaques de mise en garde 182
8.9.3 Avertissement concernant les dangers dus à l'électricité 182
8.9.4 Installations avec des condensateurs incorporés 182

8.9.5 Panneaux de sécurité pour sorties de secours 182
8.9.6 Marquage d'identification des câbles 182
9 Systèmes de protection, de commande et auxiliaires 188
9.1 Systèmes de surveillance et de commande 188
9.2 Circuits d'alimentation en courant continu et courant alternatif 189
9.2.1 Généralités 189
9.2.2 Alimentation à courant alternatif 190
9.2.3 Alimentation à courant continu 190
9.3 Systèmes à air comprimé 191
9.4 Installations de manipulation du gaz SF_6 191
9.5 Centrales d'hydrogène 192
9.6 Règles de base applicables à la compatibilité électromagnétique des systèmes de commande 192
9.6.1 Généralités 192
9.6.2 Sources de bruit électrique dans les installations à haute tension 192
9.6.3 Mesures à prendre pour réduire les effets des perturbations à haute fréquence 192
9.6.4 Mesures à prendre pour réduire les effets des perturbations à basse fréquence 193
9.6.5 Mesures liées au choix du matériel 193
9.6.6 Autres mesures possibles pour réduire les effets des perturbations 194
10 Installations de mise à la terre 194
10.1 Généralités 194
10.2 Exigences fondamentales 194
10.2.1 Critères de sécurité 194
10.2.2 Exigences fonctionnelles 195
10.2.3 Installations de mise à la terre haute et basse tension 196
10.3 Conception des installations de mise à la terre 197
10.3.1 Généralités 197
10.3.2 Défauts du réseau électrique 198
10.3.3 Foudre et transitoires 198
10.4 Construction des installations de mise à la terre 199
10.5 Mesures 199
10.6 Maintenabilité 199
10.6.1 Contrôles 199
10.6.2 Mesures 199
11 Contrôle et essais 200
11.1 Généralités 200
11.2 Vérification des performances spécifiées 201
11.3 Essais lors de l'installation et de la mise en service 201
11.4 Essai de mise en exploitation 201
12 Manuel de fonctionnement et de maintenance 202
Annexe A (normative) Valeurs des niveaux d'isolement assignés et des distances minimales fondées sur les pratiques courantes dans certains pays 203
Annexe B (normative) Méthode de calcul des tensions de contact admissibles 206
Annexe C (normative) Tension de contact admissible conformément à l'IEEE 80 207
Annexe D (normative) Diagramme de conception d'une installation de mise à la terre 208
Annexe E (informative) Méthodes de protection contre le4s coups de foudre directs< 209
Bibliographie 212

Figure 1 – Protection contre les contacts directs au moyen de barrières/obstacles de protection à l'intérieur de locaux électriques fermés 163
Figure 2 – Distances des limites et hauteur minimale à la clôture/mur extérieurs 164
Figure 3 – Hauteurs et distances de travail minimales à l'intérieur de locaux électriques fermés 165
Figure 4 – Approches avec bâtiments (à l'intérieur de locaux électriques fermés) 166
Figure 5 – Distance minimale d'approche pour le transport 167
Figure 6 – Cloisons de séparation entre les transformateurs 183
Figure 7 – Protection contre l'incendie entre le transformateur et le bâtiment 185
Figure 8 – Fosse avec réservoir de récupération intégré 186
Figure 9 – Fosse avec réservoir de récupération séparé 186
Figure 10 – Fosse avec réservoir de récupération commun intégré 187
Figure 11 – Exemple de petits transformateurs sans couche de gravier ni réservoir de récupération 187
Figure 12 – Tension de contact admissible U_{Tp} 200
Figure C.1 – Tension de contact admissible U_{Tp} conformément à l'IEEE 80 207
Figure E.1 – Câble de garde simple 210
Figure E.2 – Deux câbles de garde simple 210
Figure E.3 – Paratonnerre seul 211
Figure E.4 – Deux paratonnerres 211

Tableau 1 – Distances minimales d'isolement dans l'air – Plage de tensions I (1 kV < U_m ≤ 245 kV) 139
Tableau 2 – Distances minimales d'isolement dans l'air – Plage de tensions II (U_m > 245 kV) 140
Tableau 3 – Valeurs indicatives pour les distances de sécurité des transformateurs à l'extérieur 177
Tableau 4 – Exigences minimales applicables à l'installation de transformateurs à l'intérieur 178
Tableau 5 – Exigences minimales pour l'interconnexion d'installations de mise à la terre basse et haute tension basées sur les limites d'EPR 197
Tableau A.1 – Valeurs des niveaux d'isolement assignés et distances minimales dans l'air pour 1 kV < U_m ≤ 245 kV pour la tension la plus élevée pour l'installation U_m non normalisées par la CEI, sur la base des pratiques courantes dans certains pays 203
Tableau A.2 – Valeurs des niveaux d'isolement assignés et distances minimales dans l'air pour 1 kV < U_m ≤ 245 kV pour la tension la plus élevée pour l'installation U_m non normalisées par la CEI, sur la base des pratiques courantes dans certains pays 204
Tableau A.3 – Valeurs des niveaux d'isolement assignés et distances minimales dans l'air pour U_m > 245 kV pour les tensions les plus élevées pour l'installation U_m non normalisées par la CEI, sur la base des pratiques courantes dans certains pays 205

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES EN COURANT ALTERNATIF DE PUISSANCE SUPÉRIEURE À 1 kV –

Partie 1: Règles communes

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

Cette version consolidée de la CEI 61936-1 porte le numéro d'édition 2.1. Elle comprend la deuxième édition (2010-08) [documents 99/95/FDIS et 99/96/RVD] et son amendement 1 (2014-02) [documents 99/129/FDIS et 99/131/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

Cette version Finale ne montre pas les modifications apportées au contenu technique par l'amendement 1. Une version Redline montrant toutes les modifications est disponible dans cette publication.

Cette publication a été préparée par commodité pour l'utilisateur.

La norme internationale CEI 61936-1 a été élaborée par le comité d'études 99 de la CEI: Conception de systèmes et mise en oeuvre d'installations électriques de puissance de tensions nominales supérieures à 1 kV en courant alternatif et 1,5 kV en courant continu, en particulier concernant les aspects de sécurité.

Les principaux changements par rapport à l'édition antérieure sont énumérés ci-dessous:

- nouveau tableau de références pour les accords complémentaires entre le constructeur/entrepreneur/planificateur et utilisateur/maître d'œuvre/propriétaire (4.1.2)
- ajout d'espaces libres minimaux dans l'air non normalisés par la CEI, mais fondés sur la pratique courante dans certains pays (Annexe A)
- suppression des tensions nominales (Tableaux 1 et 2, Article 5)
- ajout de réglementations applicables aux fusibles (6.2.15)
- simplification des réglementations applicables aux voies d'évacuation (7.5.4)
- suppression des réglementations spéciales applicables aux allées de service (7.5.4)
- modification des espaces libres pour la protection contre l'incendie (Tableau 3)
- modification des critères de sécurité pour les installations de mise à la terre (10.2.1)
- courbes modifiées des tensions de contact admissibles (Figure 12, Annexe B)
- suppression de la numérotation des paragraphes sans titre
- substitution de « il convient » par « doit » dans de nombreux cas ou modification des paragraphes contenant « il convient » par une note

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties[1] de la série CEI 61936, sous le titre général *Installations électriques en courant alternatif de puissance supérieure à 1 kV*, figure sur le site internet de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

Les différences suivantes existent dans les pays indiqués ci-dessous.

- 4.3.2: Les combinaisons sont par exemple: –40 °C sans glace et sans vent; –0 °C avec glace et sans vent; –20 °C avec vent. Pour les projets spéciaux, une valeur régulière de –50 °C sans glace et sans vent peut se révéler nécessaire (Finlande)
- 4.4.2.2a: Une classe régulière de –50 °C peut se révéler nécessaire (Finlande)
- 6.2.4.1: Les conducteurs des transformateurs de courant ne doivent pas comporter de fusibles (Norvège)
- 7.2.1: La hauteur minimale des barrières pour installations extérieures doit être de 2,0 m. Les barrières doivent satisfaire aux mêmes exigences que la clôture extérieure. La hauteur minimale des parties actives situées derrière une barrière doit être N + 300 mm avec une hauteur minimale de 800 mm (Finlande)
- 7.2.2: L'utilisation d'obstacles de protection n'est pas admise dans les installations électriques à l'extérieur des bâtiments (Finlande)
- 7.2.2: Les rails, chaînes et cordes ne sont pas admis comme obstacles (Suède)
- 7.2.2: La hauteur H pour les installations extérieures doit être au moins $H = N$ + 2 500 mm, avec une hauteur minimale de 3 000 mm (Suède)

[1] Au moment de la rédaction de la présente norme, les autres parties sont toujours en cours d'étude.

- 7.2.4: La hauteur H pour les installations extérieures doit être au moins $H = N$ + 2 500 mm, avec une hauteur minimale de 3 000 mm (Suède)
- 7.2.4: La hauteur H pour les installations extérieures doit être au moins $H = N$ + 2 600 mm, avec une hauteur minimale de 2 800 mm (Finlande)
- 7.2.6: La hauteur de la clôture extérieure doit être au moins de 2 000 mm. Les conditions locales de neige doivent être prises en compte (Finlande)
- 7.2.6: La hauteur de la clôture extérieure doit être au moins de 2 500 mm (Australie)
- 7.2.6: Un treillis de dimensions 50 mm × 200 mm n'est pas accepté (Australie)
- 7.2.6: Les lignes directrices relatives à la construction des clôtures figurent dans le document ENA Doc 015 (Australie)
- 7.3: L'utilisation d'installations extérieures de conception libre n'est pas admise (Finlande)
- 7.3: Un rail doit être constitué d'un matériau non conducteur de couleurs jaune/noir derrière des portes (cellules) et des ouvertures supérieures à 0,5 m (Norvège)
- 7.3: Les rails, chaînes et cordes ne sont pas admis comme obstacles (Suède)
- 7.4.1: Les matériels et câbles, situés en dehors de locaux de service électrique fermés, doivent être constitués d'un blindage intermédiaire mis à la terre ou être protégés contre tout contact fortuit par une mise hors d'atteinte. Par blindage intermédiaire mis à la terre, on entend enceinte métallique pour les matériels ou écran pour les câbles (Suède)
- 7.5.4: Des passerelles d'une longueur supérieure à 10 m doivent être accessibles des deux extrémités. En intérieur, les zones d'accès limité fermées dont la longueur est supérieure à 20 m doivent être accessibles par des portes des deux côtés (voir CEI 60364-7-729) (Suède)
- 7.5.8: Installations difficiles à évacuer telles que des installations souterraines, en montagne, éoliennes, par exemple, des conditions spéciales doivent être imposées pour garantir une évacuation en toute sécurité en cas d'incendie ou d'accident (Norvège)
- 7.7: La hauteur minimale H' des parties actives au-dessus des surfaces accessibles au public doit être de:

  - H' = 5 500 mm pour les tensions assignées U_m jusqu'à 24 kV

  - H' = N + 5 300 mm pour les tensions assignées U_m supérieures à 24 kV (Finlande)
- 8.2: Les parties conductrices accessibles doivent être mises à la terre. Les parties conductrices extérieures qui par défauts, induction ou influence peuvent devenir actives et représenter un danger pour les personnes ou des dommages aux biens doivent être mises à la terre (Suède)
- 8.2.1.2: La hauteur minimale des barrières de protection est de 2 300 mm (Finlande)
- 8.2.1.2: Les rails, chaînes et cordes ne sont pas admis comme obstacles (Suède)
- 8.2.2.1: Les matériels et câbles, situés en dehors des locaux de service électrique fermés, doivent être constitués d'un blindage intermédiaire mis à la terre ou être protégés contre tout contact fortuit par une mise hors d'atteinte. Par blindage intermédiaire mis à la terre, on entend enceinte métallique pour les matériels ou écran pour les câbles (Suède)
- 8.2.2.2: Les rails, chaînes et cordes ne sont pas admis comme obstacles (Suède)
- 8.2.2.2: L'utilisation d'obstacles de protection n'est pas admise dans les installations électriques des bâtiments. L'utilisation d'une mise hors d'atteinte de protection est limitée aux seules situations ne permettant pas l'emploi d'un dispositif d'isolement, d'enceintes ou de barrières (Finlande)
- 8.7.1: Le classement de résistance au feu des barrières doit être au minimum celui d'une résistance au feu de 120 minutes (Australie)
- 8.7.2: Les dimensions G1 et G2 doivent être mesurées depuis le côté intérieur du mur plutôt que depuis le point de mesure présenté aux Figures 7a) et 7b) à partir du transformateur où le mur est plus large sur le transformateur (Australie)
- 8.7.2.1: Pour les transformateurs inférieurs à 1 000 l, des conditions spéciales sont énumérées dans la norme FEF 2006 §4-9 (Norvège)
- 8.8.1.3: Il convient que la rétention des déversements s'étende de 50 % de la hauteur du transformateur (Australie)
- 8.9.1: Les panneaux d'avertissement, marquages et identificateurs doivent être en langue norvégienne et dans des cas spéciaux, le marquage complémentaire doit être rédigé dans une autre langue (Norvège)
- 10.2.1 et Annexe B: Le responsable de la santé et de la sécurité (HSE) a signalé qu'il convient que les installations de mise à la terre HT soient conçues selon les tensions tolérables sur la base des impédances du corps ne dépassant pas 5 % de la population, comme indiqué dans le Tableau 1 de la CEI 60479-1:2005 (RU)
- 10.2.1: Les tensions de contact et de pas admissibles en vigueur dans les installations de puissance doivent être conformes à la loi fédérale concernant les installations électriques (haute et basse tension) (SR 734.0) et aux réglementations applicables aux installations de puissance électriques (SR 743.2 StV) (Suisse)
- Figure 1: Les rails, chaînes et cordes ne sont pas admis comme obstacles (Suède)
- Figure 7a): Les dimensions G1 et G2 doivent être mesurées depuis le côté intérieur du mur plutôt que depuis le point de mesure présenté à la Figure 7a) à partir du transformateur où le mur est plus large sur le transformateur (Australie)
- Figure 7b): Les dimensions G1 et G2 doivent être mesurées depuis le côté intérieur du mur plutôt que depuis le point de mesure présenté à la Figure 7b) à partir du transformateur où le mur est plus large sur le transformateur (Australie)

- Article 10: Pour les exigences relatives à la mise à terre, se référer à l'AS 2067, Sous-stations et Installations Haute Tension (Australie)

Le contenu du corrigendum de mars 2011 été pris en considération dans cet exemplaire.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

Il existe de nombreuses lois nationales, normes et règles internes traitant de ce sujet et liées au domaine d'application de la présente norme; ces diverses pratiques ont été prises en compte lors des travaux.

La présente partie de la CEI 61936 contient les exigences minimales valables pour les pays membres de la CEI et des indications complémentaires assurant une fiabilité acceptable d'une installation ainsi que la sécurité de son fonctionnement.

La publication de la présente norme est censée être un pas décisif vers une cohérence progressive dans le monde entier des pratiques relatives à la conception et à la mise en œuvre des installations de puissance à haute tension.

Des exigences particulières pour les installations de transport et de distribution ainsi que pour les centrales de production et les installations industrielles sont incluses dans la présente norme.

Les lois et règlements appropriés émanant d'une autorité compétente ont la priorité.

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES EN COURANT ALTERNATIF DE PUISSANCE SUPÉRIEURE À 1 kV –

Partie 1: Règles communes

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61936 fournit des règles communes relatives à la conception et la mise en œuvre des installations électriques dans des systèmes dont les tensions nominales sont supérieures à 1 kV en courant alternatif et la fréquence nominale inférieure ou égale à 60 Hz, afin d'assurer la sécurité et le fonctionnement correct pour l'utilisation prévue.

Pour les besoins d'interprétation de la présente norme, une installation de puissance électrique est considérée comme étant l'une des suivantes:

a) Poste, y compris poste pour alimentation de réseaux ferroviaires

b) Installations électriques sur mât, pylône et tour

   Appareillage et/ou transformateurs situés à l'extérieur d'un local de service électrique fermé

c) Une ou plusieurs centrales électriques placées dans un site unique

   L'installation comprend les générateurs et les transformateurs avec tout l'appareillage et tous les auxiliaires électriques associés. Les liaisons entre les centrales situées sur des sites différents sont exclues.

d) Le réseau électrique d'une usine, installation industrielle ou autres locaux industriels, agricoles, commerciaux ou publics

e) Installations électriques mises en œuvre sur des plates-formes offshore, par exemple parcs éoliens offshore.

L'installation de puissance électrique comprend notamment les matériels suivants:

– machines électriques tournantes;
– appareillage;
– transformateurs et réactances;
– convertisseurs;
– câbles;
– canalisations;
– batteries;
– condensateurs;
– installations de mise à la terre;
– bâtiments et clôtures qui font partie d'une zone électrique fermée;
– systèmes associés de protection, de commande et auxiliaires;
– réactance élevée à noyau d'air.

NOTE Généralement, une norme traitant d'un point particulier du matériel prévaut sur la présente norme.

La présente norme ne s'applique pas à la conception et la mise en œuvre des éléments suivants:

– lignes aériennes et souterraines entre des installations différentes;
– lignes de chemin de fer électriques;

– matériels de mine et installations;
– installations d'éclairages fluorescents;
– installations sur les bateaux conformément à la série CEI 60092 [34] et les unités offshore conformément à la série CEI 61892 [35], qui sont utilisées dans l'industrie pétrolière offshore à des fins de forage, de traitement et de stockage.
– matériels électrostatiques (par exemple, précipitateurs électrostatiques, cabines de peinture);
– stations d'essai;
– matériel médical, par exemple, équipement à rayons X.

La présente norme ne s'applique pas à la conception des appareillages préfabriqués soumis à un essai de type et des sous-stations préfabriquées à haute tension/basse tension, pour lesquels des normes spécifiques CEI existent déjà.

Cette norme ne s'applique pas aux exigences relatives aux travaux effectués sous tension sur des installations électriques.

Sauf indication contraire dans la présente norme, la série de normes CEI 60364 s'applique pour les installations électriques basse tension.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60034-1, *Machines électriques tournantes – Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*

CEI 60034-3, *Machines électriques tournantes – Partie 3: Règles spécifiques pour les alternateurs synchrones entraînés par turbines à vapeur ou par turbines à gaz à combustion*

CEI 60060-1, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 60071-1, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

CEI 60071-2:1996, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*

CEI 60076-2:1993, *Transformateurs de puissance – Partie 2: Echauffement*

CEI 60076-11, *Transformateurs de puissance – Partie 11: Transformateurs de type sec*

CEI 60079-0, *Atmosphères explosives – Partie 0: Appareils - Exigences générales*

CEI 60079-10-1, *Atmosphères explosives – Partie 10-1: Classement des emplacements – Atmosphères explosives gazeuses*

CEI 60079-10-2, *Atmosphères explosives – Partie 10-2: Classement des emplacements – Atmosphères explosives poussiéreuses*

CEI 60255 (toutes les parties), *Relais de mesure et dispositifs de protection*

CEI 60331-21, *Essais de câbles électriques soumis au feu – Intégrité des circuits – Partie 21: Procédures et prescriptions – Câbles de tension assignée jusque et y compris 0,6/1,0 kV*

CEI 60331-1, *Essais pour câbles électriques soumis au feu – Intégrité des circuits – Partie 1: Méthode d'essai au feu avec chocs pour les câbles de tension assignée au plus égale à 0,6/1,0 kV et de diamètre externe supérieur à 20 mm, à une température d'au moins 830 °C*

CEI 60332 (toutes les parties), *Essais des câbles électriques et à fibres optiques soumis au feu*

CEI 60364 (toutes les parties), *Installations électriques à basse tension*

CEI/TS 60479-1:2005, *Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques – Partie 1: Aspects généraux*

CEI 60529, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

CEI 60617, *Symboles graphiques pour schémas*

CEI 60721-2-6, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2-6: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Vibrations et chocs sismiques*

CEI 60721-2-7, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2-7: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Faune et flore*

CEI 60754-1, *Essai sur les gaz émis lors de la combustion de matériaux prélevés sur câbles – Partie 1: Détermination de la quantité de gaz acide halogéné*

CEI 60754-2, *Essai sur les gaz émis lors de la combustion des câbles électriques – Partie 2: Détermination de l'acidité des gaz émis lors de la combustion d'un matériau prélevé sur des câbles électriques par mesurage du pH et de la conductivité*

IEC/TS 60815-1, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 1: Definitions, information and general principles (disponible en anglais seulement)*

CEI 60826, *Critères de conception des lignes aériennes de transport*

CEI 60865-1, *Courants de court-circuit – Calcul des effets – Partie 1: Définitions et méthodes de calcul*

CEI 60909 (toutes les parties), *Courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif*

CEI 60949, *Calcul des courants de court-circuit admissibles au plan thermique, tenant compte des effets d'un échauffement non adiabatique*

CEI/TR 61000-5-2, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation - Section 2: Mise à la terre et câblage*

CEI 61034-1, *Mesure de la densité de fumées dégagées par des câbles brûlant dans des conditions définies – Partie 1: Appareillage d'essai*

CEI 61082-1, *Etablissement des documents utilisés en électrotechnique – Partie 1: Règles*

CEI 61100, *Classification des isolants liquides selon le point de feu et le pouvoir calorifique inférieur*

CEI 61140, *Protection contre les chocs électriques – Aspects communs aux installations et aux matériels*

CEI 61219, *Travaux sous tension – Appareil de mise à la terre ou de mise à la terre et en court-circuit utilisant des cannes comme dispositif de mise en court-circuit – Mise à la terre au moyen de cannes*

CEI 61230, *Travaux sous tension – Equipements portables de mise à la terre ou de mise à la terre et en court-circuit*

CEI 61243 (toutes les parties), *Travaux sous tension – Détecteurs de tension*

CEI/TS 61463, *Traversées – Qualification sismique*

CEI 62271-1:2007, *Appareillage à haute tension – Partie 1: Spécifications communes* Amendement 1:2011

CEI 62271-200, *Appareillage à haute tension – Partie 200: Appareillage sous enveloppe métallique pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV*

CEI 62271-201, *Appareillage à haute tension – Partie 201: Appareillage sous enveloppe isolante pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV*

CEI 62271-202, *Appareillage à haute tension – Partie 202: Postes préfabriqués haute tension/basse tension*

CEI 62271-203, *Appareillage à haute tension – Partie 203: Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tensions assignées supérieures à 52 kV*

CEI 62271-206, *Appareillage à haute tension – Partie 206: Systèmes indicateurs de présence de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV*

CEI 62271-207, *Appareillage à haute tension – Partie 207: Qualification sismique pour ensembles d'appareillages à isolation gazeuse pour des niveaux de tension assignée supérieurs à 52 kV*

CEI/TR 62271-300, *Appareillage à haute tension – Partie 300: Qualification sismique des disjoncteurs à courant alternatif*

CEI/TR 62271-303, *Appareillage à haute tension – Partie 303: Utilisation et manipulation de l'hexafluorure de soufre (SF_6)*

CEI 62305 (toutes les parties), *Protection contre la foudre*

CEI 62305-4, *Protection contre la foudre – Partie 4: Réseaux de puissance et de communication dans les structures*

CEI 82079-1, *Etablissement des instructions d'utilisation – Structure, contenu et présentation – Partie 1: Principes généraux et exigences détaillées*

Guide CEI 107, *Compatibilité électromagnétique – Guide pour la rédaction des publications sur la compatibilité électromagnétique*

Guide ISO/CEI 51, *Aspects liés à la sécurité – Principes directeurs pour les inclure dans les normes*

ISO 1996-1, *Acoustique – Description, mesurage et évaluation du bruit de l'environnement – Partie 1: Grandeurs fondamentales et méthodes d'évaluation*

Guide IEEE 80, *Guide pour la sécurité dans la mise à la terre de postes c.a.*

Guide IEEE 980, *Guide pour le stockage et le contrôle des fuites d'huiles dans les postes*

Journal officiel des communautés européennes, N°. C 62/23 du 28.02.1994: *Document d'interprétation. Prescriptions essentielles N° 2: «sécurité en cas d'incendie»*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s'appliquent.

3.1 Définitions générales

3.1.1
matériel électrique
matériel utilisé pour la production, la transformation, le transport, la distribution ou l'utilisation de l'énergie électrique, tel que machine, transformateur, appareillage, appareil de mesure, dispositif de protection, canalisation électrique, matériels d'utilisation

[CEI 60050-826:2004, 826-16-01]

3.1.2
valeur nominale
valeur d'une grandeur, utilisée pour dénommer et identifier un composant, un dispositif, un matériel ou un système

[CEI 60050-151:2001, 151-16-09]

3.1.3
tension nominale d'un réseau
valeur arrondie appropriée de la tension utilisée pour dénommer ou identifier un réseau

[CEI 60050-601:1985, 601-01-21]

3.1.4
valeur assignée
valeur d'une grandeur, utilisée à des fins de spécification, correspondant à un ensemble spécifié de conditions de fonctionnement d'un composant, dispositif, matériel ou système

[CEI 60050-151:2001, 151-16-08]

3.1.5
tension la plus élevée pour l'installation
plus grande valeur de la tension efficace entre phase pour laquelle l'installation est conçue tout en respectant son niveau d'isolation

3.1.6
zone de connexion soumise à essai
zone au voisinage des bornes du matériel qui a subi un essai de type diélectrique avec la ou les valeurs de tenue appropriées, les conducteurs concernés étant connectés aux bornes d'une manière spécifiée par le constructeur du matériel

3.1.7
distance de sectionnement d'un pôle
distance d'isolement entre contacts ouverts satisfaisant aux exigences de sécurité concernant les sectionneurs

[CEI 60050-441:1984, 441-17-35]

3.1.8
sectionnement
coupure ou déconnexion d'une installation, d'une partie d'installation ou d'un matériel à partir de tous les conducteurs non mis à la terre par la création d'intervalles ou de distances d'isolement

3.1.9
partie active
conducteur ou partie conductrice destiné à être sous tension en service normal, y compris le conducteur de neutre, mais par convention, excepté le conducteur PEN, le conducteur PEM ou le conducteur PEL

[CEI 60050-195:1998, 195-02-19]

NOTE 1 La notion n'implique pas nécessairement un risque de choc électrique.

NOTE 2 Pour les définitions de PEM et de PEL, voir la CEI 60050-195:1998,195-02-13 et la CEI 60050-195:1998, 195-02-14.

3.1.10
artère
ligne électrique issue d'un poste principal, alimentant un ou plusieurs postes secondaires ou une ou plusieurs lignes secondaires ou encore une association des deux

[CEI 60050-601:1985, 601-02-08, modifiée]

3.1.11
ferro-résonance
résonance entre la capacitance d'un appareil et l'inductance du circuit magnétique saturable d'un appareil voisin

[CEI 60050-604:1987, 604-01-14]

3.1.12
surtension transitoire
surtension de courte durée, ne dépassant pas quelques millisecondes, oscillatoire ou non, généralement fortement amortie

[CEI 60050-604, Amendement 1:1998, 604-03-13]

3.1.13
haute tension
tension supérieure à 1 000 V en courant alternatif

3.1.14
basse tension
tension inférieure à 1 000 V en courant alternatif

3.1.15
exploitation
ensemble des activités, incluant à la fois les travaux électriques et non-électriques, nécessaires pour permettre le fonctionnement d'une installation électrique

NOTE Ces activités comprennent les manœuvres, le contrôle, la surveillance et la maintenance.

3.1.16
conditions normales de fonctionnement
toutes conditions de fonctionnement fréquemment rencontrées

NOTE Cela inclut les conditions assignées d'exploitation, les conditions maximales et minimales, les charges partielles, les transitoires normales (démarrage, arrêt, variations de charge) et les situations d'attente.

3.1.17
conditions anormales de fonctionnement
conditions de fonctionnement rares (seulement quelques fois au cours de la vie du matériel)

NOTE Cela inclut les erreurs humaines, pertes d'alimentation, surtensions, séismes, etc. Après de telles conditions d'exploitation, une inspection de ces matériels peut être exigée.

3.1.18
travaux électriques
travaux sur, avec ou à proximité d'une installation de puissance tels que essais et mesures, réparations, remplacements, modifications, extensions, mise en œuvre et inspections

3.2 Définitions concernant les installations

3.2.1
local électrique fermé
salle ou local destiné à l'exploitation des installations et des matériels électriques dont l'accès est réservé aux personnes qualifiées ou instruites ou aux autres personnes sous la surveillance de personnes qualifiées ou instruites, par exemple par ouverture d'une porte ou enlèvement d'une barrière de protection seulement à l'aide d'une clé ou d'un outil et qui sont clairement identifiés par des panneaux d'avertissement appropriés

3.2.2
locaux de service soumis à un risque d'incendie
salles, locaux ou emplacements intérieurs ou extérieurs, où existe un danger dû aux conditions locales ou de fonctionnement par lesquelles des quantités dangereuses de matériaux facilement inflammables peuvent se trouver suffisamment proches des matériels électriques pour créer un risque d'incendie dû à la température élevée du matériel ou à un arc

3.2.3
fosse de récupération
réceptacle destiné à recueillir l'isolant liquide d'un transformateur ou de tout autre appareil en cas de fuite

[CEI 60050-605:1983, 605-02-30, modifiée]

3.2.4
réservoir de récupération
réservoir destiné à recevoir les fuites de liquide, l'eau de pluie, etc. pour un ou plusieurs transformateurs ou tout autre appareil

3.2.5
jeu de barres
conducteur associé à des connexions, jonctions et supports isolés formant une connexion électrique commune entre un certain nombre de circuits ou des éléments individuels des appareillages

3.3 Définitions concernant les types d'installations

3.3.1
poste
partie d'un réseau électrique, située en un même lieu, comprenant principalement les extrémités des lignes de transport ou de distribution, de l'appareillage électrique, des bâtiments et, éventuellement, des transformateurs. Un poste comprend généralement les dispositifs destinés à la sécurité et à la conduite du réseau (par exemple les protections)

NOTE Selon le type de réseau auquel appartient le poste, il peut être qualifié par la désignation du réseau.

EXEMPLE Poste de transport (d'un réseau de transport), poste de distribution, poste à 400 kV, poste à 20 kV.

[CEI 60050-605:1983, 605-01-01]

3.3.2
centrale électrique
équipement destiné à la production d'énergie électrique et qui comprend les ouvrages de génie civil, de conversion énergétique ainsi que l'appareillage associé

[CEI 60050-602:1983, 602-01-01]

3.3.3
installations ouvertes
installations dans lesquelles le matériel n'est pas protégé contre les contacts directs

3.3.4
installations sous enveloppe
installations dans lesquelles le matériel possède une protection contre les contacts directs

NOTE Pour les degrés de protection procurés par les enveloppes, voir la CEI 60529.

3.3.5
"cellule" ou "compartiment" d'appareillage
toute partie d'un jeu de barres dans une installation

3.4 Définitions concernant les mesures de protection contre les chocs électriques

3.4.1
protection contre les contacts directs
mesures qui empêchent les personnes d'approcher des parties actives dangereuses ou des zones où il existe un risque de tension dangereuse avec des parties de leurs corps ou des objets (atteignant la zone dangereuse)

3.4.2
protection contre le contact indirect
protection des personnes contre les dangers susceptibles de résulter, en cas de défaut, d'un contact avec des parties conductrices accessibles de matériel électrique ou autres parties conductrices

3.4.3
enveloppe
enceinte assurant la protection du matériel contre certaines influences externes et, dans toute direction, la protection contre les contacts directs

3.4.4
barrière de protection
partie assurant la protection contre les contacts directs dans toute direction habituelle d'accès

[CEI 60050-195:1998, 195-06-15]

3.4.5
obstacle de protection
élément empêchant un contact direct fortuit mais ne s'opposant pas à un contact direct par une action délibérée

[CEI 60050-195:1998, 195-06-16]

3.5 Définitions concernant les espaces libres

3.5.1
distance d'isolement
distance entre deux parties conductrices le long d'un fil tendu suivant le plus court trajet possible entre ces deux parties conductrices

[CEI 60050-441:1984, 441-17-31]

3.5.2
espace libre minimal
plus petite distance d'isolement admissible dans l'air entre des parties actives ou entre des parties actives et la terre

3.5.3
distance d'isolement d'une barrière de protection
plus petite distance d'isolement admissible entre une barrière de protection et les parties actives ou des parties susceptibles d'être soumises à une tension dangereuse

3.5.4
distance d'isolement d'un obstacle de protection
plus petite distance d'isolement admissible entre un obstacle de protection et les parties actives ou les parties susceptibles d'être soumises à une tension dangereuse

3.5.5
zone dangereuse
zone limitée par la distance d'isolement minimale (D_L) autour des parties actives sans protection complète contre les contacts directs (voir Figure 3)

NOTE Atteindre la zone dangereuse est considéré comme analogue à un contact avec des parties actives.

3.5.6
zone de proximité
zone entourant une zone dangereuse, dont la limite extérieure est la distance D_V (voir Figure 3).

NOTE 1 La limite extérieure de la zone de proximité dépend de la tension de la partie active.

NOTE 2 Les travaux dans la zone de proximité sont ceux effectués par un travailleur soit dans la zone soit en pouvant toucher des parties par le corps ou des outils, des matériels et dispositifs pouvant être manipulés, mais sans qu'il entre dans la zone dangereuse.

3.5.7
distance de travail
distance minimale de sécurité (D_W) à respecter entre les parties actives normalement accessibles et toute personne ayant à intervenir dans un poste ou tout outil conducteur tenu à la main (voir Figure 3)

[CEI 60050-605:1983, 605-02-25, modifiée]

NOTE 1 Les valeurs pour les personnes habilitées ou instruites en électricité sont indiquées à la Figure 3. Cela se réfère aux seuls travaux hors tension. Des définitions particulières pour les travaux sous tension sont données dans la CEI 60050-651.

NOTE 2 En Europe, le terme «distance minimale de travail» est utilisé au lieu de «distance de travail».

3.5.8
distance d'isolement d'une clôture
plus petite distance d'isolement admissible entre une clôture extérieure et les parties actives ou les parties susceptibles d'être soumises à une tension dangereuse

3.5.9
hauteur minimale

plus petite distance verticale admissible entre les surfaces accessibles et les parties actives sans protection contre les contacts directs ou des parties susceptibles d'être soumises à une tension dangereuse (voir Figure 3)

3.6 Définitions concernant la commande et la protection

3.6.1
dispositif de verrouillage
dispositif qui subordonne la possibilité de fonctionnement d'un appareil de connexion à la position ou au fonctionnement d'un ou de plusieurs autres éléments de l'équipement

[CEI 60050-441:1984, 441-16-49]

3.6.2
commande directe
commande d'une manœuvre, effectuée à partir d'un point situé sur l'appareil de connexion commandé ou dans le voisinage immédiat de celui-ci

[CEI 60050-441:1984, 441-16-06]

3.6.3
commande à distance
télécommande
commande d'une manœuvre, effectuée à partir d'un point éloigné de l'appareil de connexion commandé

[CEI 60050-441:1984, 441-16-07]

3.6.4
réenclenchement automatique
refermeture du disjoncteur associé à une fraction de réseau affectée d'un défaut, par un dispositif automatique après un intervalle de temps permettant la disparition d'un défaut fugitif

[CEI 60050-604:1987, 604-02-32]

3.7 Définitions concernant la mise à la terre

3.7.1
terre (locale)
partie de la Terre en contact électrique avec une prise de terre, et dont le potentiel électrique n'est pas nécessairement égal à zéro

NOTE Le potentiel électrique de tout point de la masse conductrice de la terre est pris, par convention, égal à zéro.

[CEI 60050-195:1998, 195-01-03, modifiée]

3.7.2
terre de référence
terre de référence (terre distante)
partie de la Terre considérée comme conductrice, dont le potentiel électrique est pris, par convention, égal à zéro, étant hors de la zone d'influence de l'installation de mise à la terre concernée

NOTE La notion de «Terre» se réfère à la planète et à toute la matière dont elle est composée.

[CEI 60050-195:1998, 195-01-01, modifiée]

3.7.3
prise de terre
électrode de terre
partie conductrice pouvant être incorporée dans un milieu conducteur particulier, par exemple béton ou coke, en contact électrique avec la Terre

[CEI 60050-195:1998, 195-02-01]

3.7.4
conducteur de (mise à la) terre
conducteur assurant un chemin conducteur, ou une partie du chemin conducteur, entre un point donné d'un réseau, d'une installation, ou d'un matériel et une prise de terre

[CEI 60050-195:1998, 195-02-03]

NOTE Si la connexion entre une partie de l'installation et l'électrode de terre est assurée par une barrette de coupure, un sectionneur, un compteur ou un intervalle de décharge d'un parafoudre, etc., seule la partie de la connexion attachée de façon permanente à l'électrode de terre est un conducteur de mise à la terre.

3.7.5
conducteur d'équipotentialité de protection
conducteur de protection assurant une liaison équipotentielle

3.7.6
installation de mise à la terre
ensemble des connexions et des dispositifs qui sont nécessaires pour mettre à la terre séparément ou collectivement un appareil ou une installation

[CEI 60050-604:1987, 604-04-02]

3.7.7
piquet de terre
électrode de terre constituée d'une tige métallique enfoncée dans le sol

[CEI 60050-604:1987, 604-04-09]

3.7.8
prise de terre de fait
partie métallique qui est en contact avec la terre ou avec l'eau, directement ou par l'intermédiaire du béton, et qui n'est pas destinée à la mise à la terre mais qui satisfait à toutes les exigences d'une prise de terre sans modifier sa destination

NOTE Des exemples de structures faisant office de prise de terre sont des conduites métalliques, des plaques de fondation, des armatures de poteaux en béton, des parties métalliques des bâtiments, etc.

3.7.9
résistivité électrique du sol

ρ_E
résistivité d'un échantillon typique du sol

3.7.10
résistance de terre
R_E
partie réelle de l'impédance de terre

3.7.11
impédance de terre
Z_E
impédance pour une fréquence donnée entre un point spécifié d'un réseau, d'une installation ou d'un matériel et la terre de référence

NOTE L'impédance de terre est déterminée non seulement par les prises de terre directement connectées, mais également par les mises à la terre des lignes aériennes interconnectées, par des câbles de garde des lignes aériennes, par des câbles avec écran et par toutes autres installations de mise à la terre, reliées à l'installation de mise à la terre concernée, par des gaines conductrices, des blindages, des conducteurs PEN ou de toute autre manière.

3.7.12
élévation du potentiel de terre
EPR[2]
U_E
tension entre une installation de mise à la terre et la terre de référence

3.7.13
potentiel
tension entre un point d'observation et la terre de référence

3.7.14
tension de contact (effective)
U_T
tension entre des parties conductrices touchées simultanément

NOTE La valeur de la tension de contact effective peut être sensiblement influencée par l'impédance de la personne en contact électrique avec ces parties conductrices.

[CEI 60050-195:1998, 195-05-11, modifiée]

3.7.15
tension de contact présumée
U_{vT}
tension apparaissant entre des parties conductrices simultanément accessibles quand ces parties conductrices ne sont pas touchées

[CEI 60050-195:1998, 195-05-09, modifiée]

3.7.16
tension de pas
U_S
tension entre deux points de la surface de la Terre distants de 1 m, ce qui est considéré comme la longueur de l'enjambée d'une personne

[CEI 60050-195:1998, 195-05-12]

3.7.17
transfert de potentiel
élévation du potentiel de l'installation de mise à la terre provoquée par un courant à la terre transmis au moyen d'un conducteur (par exemple, gaine métallique de câble, conducteur PEN, tuyau, rail) entre les zones avec faible élévation ou sans élévation de potentiel à la terre de

---

2 EPR = *earth potential rise*.

référence, de sorte qu'une différence de potentiel puisse apparaître entre le conducteur et son environnement

NOTE Cette définition s'applique également à un conducteur venant de la terre de référence et conduisant à la zone de l'élévation de potentiel.

3.7.18
tension de contrainte
tension apparaissant dans des conditions de défaut à la terre entre une partie mise à la terre ou une enveloppe du matériel ou de l'appareil et une quelconque de ses parties susceptible d'affecter le fonctionnement normal ou la sécurité

3.7.19
installation de mise à la terre globale
installation équivalente de mise à la terre créée par l'interconnexion d'installations de mise à la terre locales qui assure, par le voisinage des installations de mise à la terre, l'absence de tension de contact dangereuse

NOTE 1 De telles mises à la terre permettent la répartition du courant de défaut à la terre de telle sorte que l'élévation de potentiel dans l'installation locale de mise à la terre est réduite. Une telle mise à la terre peut former une surface quasi équipotentielle.

NOTE 2 L'existence d'une mise à la terre globale peut être déterminée par des mesures ou des calculs pour les systèmes typiques. Des exemples typiques de mise à la terre globale sont les centres villes, les zones urbaines ou industrielles ayant des installations de mise à la terre basse et haute tension.

3.7.20
conducteur de neutre HT mis à la terre en des points multiples
conducteur neutre d'une ligne de distribution connecté à l'installation de mise à la terre du transformateur et mis à la terre régulièrement

3.7.21
partie conductrice accessible
masse (dans une installation électrique)
partie conductrice d'un matériel, susceptible d'être touchée et qui n'est pas normalement sous tension mais peut le devenir lorsque l'isolation principale est défaillante

[CEI 60050-826:2004, 826-12-10]

3.7.22
élément conducteur étranger (à l'installation électrique)
élément ne faisant pas partie de l'installation électrique et susceptible de propager un potentiel électrique, généralement celui de la terre

[CEI 60050-826:2004, 826-12-11, modifiée]

3.7.23
conducteur PEN
conducteur assurant à la fois les fonctions de conducteur de mise à la terre de protection et de conducteur de neutre

[CEI 60050-826:2004, 826-13-25]

3.7.24
défaut à la terre
défaut dû à un conducteur ayant un point à la terre ou à une résistance d'isolement devenue inférieure à une valeur spécifiée

[CEI 60050-151:1978[3], 151-03-40]

NOTE Des défauts à la terre de deux ou plusieurs conducteurs de phase du même réseau en différents emplacements sont appelés défauts doubles ou multiples.

3.7.25
courant de défaut à la terre
I_F
courant qui circule du circuit principal à la terre ou aux parties mises à la terre à l'emplacement du défaut (emplacement du défaut à la terre).

NOTE 1 Pour des défauts simples à la terre, ce courant est

- dans les schémas avec neutre isolé, le courant capacitif de défaut à la terre,
- dans les schémas avec mise à la terre d'impédance élevée, le courant composé résistif et capacitif de défaut à la terre,
- dans les schémas avec neutre compensé, le courant résiduel de défaut à la terre,
- dans les schémas avec neutre faiblement impédant, le courant de court-circuit phase-terre,

NOTE 2 Un autre courant de défaut à la terre peut résulter d'un double défaut à la terre et d'un défaut biphasé-terre.

3.7.26
courant de circulation dans le neutre du transformateur
partie du courant de défaut retournant au neutre du transformateur par les parties métalliques et/ou l'installation de mise à la terre sans s'écouler dans le sol

4 Exigences fondamentales

4.1 Généralités

4.1.1 Exigences générales

Les installations et les matériels doivent pouvoir supporter les contraintes électriques, mécaniques, climatiques et les influences externes prévisibles sur le site.

La conception doit prendre en compte:

– le but de l'installation,
– les exigences des utilisateurs telles que la qualité de l'énergie, sa fiabilité, sa disponibilité, et la capacité du réseau électrique à résister aux effets transitoires tels que le démarrage de moteurs de puissance, les microcoupures et la ré-alimentation de l'installation,
– la sécurité des opérateurs et du public,
– les influences externes,
– les possibilités d'extension (si exigées) et la maintenance.

L'utilisateur doit définir les préférences des dispositions spécifiques de maintenance et identifier les exigences de sécurité à mettre en place pour les niveaux de sélectivité de l'appareillage afin d'assurer la coupure minimale de l'installation. Lorsque cela est nécessaire, les niveaux de sélectivité de l'appareillage doivent être tels qu'ils minimisent la diffusion d'un défaut, y compris un incendie, survenant dans un module défini quelconque dans les modules adjacents.

Il peut apparaître des conditions de fonctionnement rares ou dont les durées cumulées sont faibles pour lesquelles un accord entre l'utilisateur et le constructeur sur des critères spécifiques de conception peut être nécessaire. Dans de tels cas, les mesures requises pour

---

[3] La CEI 60050-151:1978 a été remplacée en 2001, toutefois, pour cette définition (151-03-40) la publication de 1978 est applicable.

prévenir les conditions dangereuses et éviter tout dommage au matériel électrique ou à l'installation doivent être prises.

Les générateurs doivent être capables de satisfaire aux exigences de raccordement du réseau de distribution ou du réseau local, par exemple, pour la réglementation de la tension, la réponse en fréquence, etc.

4.1.2 Accords entre fournisseur (constructeur) et utilisateur

Les processus d'exploitation de l'utilisateur doivent être pris en compte pour la conception de l'installation.

Pour la conception et la mise en œuvre d'installations de puissance, des accords complémentaires entre le constructeur / entrepreneur / planificateur et l'utilisateur / maître d'œuvre / propriétaire doivent être appliqués, pouvant également influencer les exigences d'exploitation nécessaires. Les références peuvent être trouvées dans les paragraphes suivants:

Paragraphe	Sujet
4.1.1	Exigences générales (critères de conception spécifiques)
4.2.2	Classification des tensions
4.3.9	Conditions particulières et exigences relatives aux régions à environnement sismique
4.4.2.1	Conditions climatiques et environnementales (pour les matériels auxiliaires: intérieurs)
4.4.2.2	Conditions climatiques et environnementales (pour les matériels auxiliaires: extérieurs)
4.4.3.1	Conditions différentes des conditions environnementales normales
4.4.3.5	Conditions particulières et exigences relatives aux vibrations
6.1.2	Conformité avec les procédures de fonctionnement et de sécurité
6.2.1	Méthode d'indication (position du contact de l'interrupteur ou du sectionneur)
6.2.1	Interverrouillage et/ou verrouillage
6.2.1	Dispositifs de commutation (caractéristiques assignées réduites)
6.2.1	Caractéristiques assignées de l'appareillage (exigences spécifiques)
6.2.8	Niveau de pollution
6.2.8	Isolateurs extérieurs dans des conditions de pollution ou d'humidité importante
6.2.9.1	Câbles isolés (échauffement)
7.1	Plus grandes valeurs pour les distances, espaces libres et dimensions
7.1	Installations (procédures de fonctionnement)
7.1.2	Documentation (importance de la documentation)
7.1.3	Voies de circulation (capacité de portance, hauteur et largeur)
7.1.5	Eclairage (présence et importance de l'éclairage)
7.5.4	Zones d'exploitation et de maintenance (distances et issue de secours)
8.4	Dispositions de protection des personnes travaillant sur des installations électriques (procédures de travail)
8.4.3	Dispositifs de vérification de l'absence de tension (mise en place des dispositions)
8.4.4	Dispositifs de mise à la terre et en court-circuit (mise en place des dispositions ou fournitures)
8.4.5.1	Matériels agissant comme barrières de protection contre les parties actives voisines (mise en place de parois isolées mobiles)
8.4.5.2	Matériels agissant comme barrières de protection contre les parties actives voisines (mise en place de cloisons de séparation mobiles)
8.5	Protection contre les dangers provenant d'un défaut d'arc (degré d'importance des mesures)
8.6	Protections contre les coups de foudre directs (méthode d'analyse)

Paragraphe	Sujet
8.7.1	Exigences pour les matériels d'extinction d'incendie
8.7.2.1	Réduction des distances G_1/G_2
9.1	Systèmes de commande et de contrôle (accord sur le niveau de défectuosité et des études de protection)
9.3	Système d'air comprimé (coupure pour maintenance)
9.4	Installations de manipulation du gaz SF_6 (conception et capacité de l'installation)
10.2.1	Exigences fondamentales relatives à la conception de l'installation de mise à la terre
11	Essai et vérifications (mise en place des vérifications et essais / spécifications / documentation)
11.3	Essais lors de l'installation et la remise d'ouvrage (exigences / matériel d'essai / programme d'essais)
11.4	Essai de fonctionnement (performance)

4.2 Exigences électriques

4.2.1 Méthodes de mise à la terre du neutre

La méthode de mise à la terre du neutre influence fortement le niveau et la durée du courant de défaut. Par ailleurs, la méthode de mise à la terre du neutre est importante pour ce qui concerne les caractéristiques suivantes:

– le choix du niveau d'isolement;
– les caractéristiques des appareils limitant les surtensions, comme des éclateurs ou des parafoudres;
– le choix des relais de protection;
– la conception de l'installation de mise à la terre.

Exemples de méthodes de mise à la terre du neutre:

– schéma à neutre isolé;
– schéma à neutre compensé;
– schéma à la terre d'impédance élevée;
– schéma à neutre faiblement impédant.

Le choix du type de mise à la terre du neutre est normalement basé sur les critères suivants:

– la réglementation locale (si elle existe);
– la continuité de l'alimentation nécessaire pour le réseau;
– la limitation des dommages subis par les matériels en cas de défaut à la terre;
– l'élimination sélective des portions de réseau en défaut;
– la localisation des défauts;
– les tensions de contact et de pas;
– les interférences induites;
– les aspects opérationnels et de maintenance.

Un réseau raccordé galvaniquement a uniquement une seule méthode de mise à la terre du neutre. Différents réseaux galvaniquement indépendants peuvent avoir des méthodes différentes de mise à la terre du neutre. Si différentes configurations de mise à la terre du neutre peuvent survenir en condition de fonctionnement normale ou non, les matériels et systèmes de protection doivent être conçus de manière à pouvoir fonctionner dans de telles conditions.

4.2.2 Classification des tensions

Les utilisateurs doivent définir la tension nominale et la tension maximale de fonctionnement de leur réseau. A partir de la tension maximale de fonctionnement, la plus grande tension pour l'installation (U_m) doit être choisie dans le Tableau 1, le Tableau 2 ou l'Annexe A.

4.2.3 Courant en fonctionnement normal

Chaque partie d'une installation doit être conçue et mise en œuvre afin de supporter les courants dans les conditions de fonctionnement définies.

4.2.4 Courant de court-circuit

Les installations doivent être conçues, disposées et mises en œuvre pour pouvoir supporter sans dommage les contraintes mécaniques et thermiques provoquées par les courants de court-circuit.

NOTE 1 Lorsqu'une installation possède une production sur site, des moteurs ou un fonctionnement en parallèle avec un réseau (co-génération), les niveaux de défectuosité peuvent augmenter.

Pour les besoins de la présente norme, tous les types de court-circuit doivent être pris en compte, par exemple:

– défaut triphasé;
– défaut biphasé;
– défaut monophasé (phase-terre);
– défaut biphasé-terre.

Les installations doivent être protégées par des dispositifs automatiques pour interrompre les courts-circuits triphasés et biphasés.

Les installations doivent être protégées soit par des dispositifs automatiques destinés à couper les courants de défaut à la terre, soit par des appareils signalant toute condition de défaut à la terre. Le choix du dispositif dépend de la méthode de mise à la terre du neutre.

La valeur normalisée de la durée assignée de court-circuit est de 1,0 s.

NOTE 2 Si une valeur différente de 1 s est appropriée, les valeurs recommandées seraient de 0,5 s, 2,0 s ou 3,0 s.

NOTE 3 Il convient de déterminer la durée assignée en tenant compte du temps d'élimination des défauts.

Les méthodes de calcul des courants de court-circuit dans les installations triphasées à courant alternatif sont décrites dans la série CEI 60909.

Les méthodes de calcul des effets du courant de court-circuit sont décrites dans la CEI 60865-1 et, pour les câbles d'énergie, dans la CEI 60949.

4.2.5 Fréquence assignée

Les installations doivent être conçues en fonction de la fréquence assignée du réseau dans lequel elles doivent fonctionner.

4.2.6 Effet couronne

Les installations doivent être conçues de manière à ce que les perturbations radioélectriques dues aux champs électromagnétiques ne dépassent pas un niveau spécifié, par exemple causées par des effets couronnes.

NOTE 1 Les documents CISPR 18-1, CISPR 18-2 et CISPR 18-3[1],[2],[3][4] contiennent des recommandations en vue de minimiser les perturbations radioélectriques des installations à haute tension.

NOTE 2 Les niveaux maximum admissibles des perturbations radioélectriques peuvent être fixés par les autorités nationales ou locales.

NOTE 3 Des lignes directrices sur les niveaux de tension acceptables des perturbations radioélectriques pour l'appareillage sont indiquées dans la CEI 62271-1:2007.

Lorsque la valeur acceptable est dépassée, le niveau de l'effet couronne peut être contrôlé, par exemple, par l'installation d'anneaux couronnes ou le renforcement de connecteurs des jeux de barre haute tension, de leurs supports, des raccords de barres et des bornes de matériel.

4.2.7 Champs électriques et magnétiques

Une installation doit être conçue de manière à limiter les champs électriques et magnétiques générés par le matériel de puissance à un niveau acceptable pour les personnes exposées.

NOTE La réglementation nationale et/ou internationale peut spécifier les niveaux acceptables. Des informations complémentaires sont disponibles auprès de la Commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) ou de l'IEEE.

4.2.8 Surtensions

Les matériels doivent être protégés contre les surtensions provenant des manœuvres ou des coups de foudre pouvant dépasser les valeurs de tenue au choc conformément à la CEI 60071-1 et à la CEI 60071-2:1996.

4.2.9 Harmoniques

Il convient de considérer les effets des harmoniques de courant et de tension sur l'installation, par exemple, dans les installations industrielles. Une analyse des harmoniques peut être nécessaire pour déterminer les mesures de correction à appliquer pour satisfaire à la réglementation locale et/ou assurer un fonctionnement correct de l'ensemble du réseau électrique.

4.3 Exigences mécaniques

4.3.1 Matériels et structures de support

Les matériels et les structures de support, y compris leurs fondations, doivent supporter les contraintes mécaniques prévisibles.

Deux cas de charges doivent être considérés, à savoir un cas de charge normale et un cas de charge exceptionnelle. Dans chacun de ces cas de charge, plusieurs combinaisons doivent être analysées, et le cas le plus défavorable doit être utilisé pour déterminer la tenue mécanique des structures.

Pour le cas de charge normale, les charges suivantes doivent être prises en considération:

– poids propre;
– charge de tension mécanique;
– charge de mise en œuvre;
– charge de glace;
– charge due au vent.

---

4 Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

Les contraintes temporaires et les charges pouvant être appliquées lors de la construction ou des procédures de maintenance doivent être considérées. Des équipements particuliers peuvent être affectés par des charges cycliques et des contraintes dues à des dilatations thermiques (se référer aux normes concernant ces équipements particuliers).

Pour le cas de charge exceptionnelle, le poids propre et la charge de tension mécanique agissant simultanément avec la plus grande des charges occasionnelles suivantes doivent être pris en considération:

– efforts dus aux manœuvres;
– forces de court-circuit;
– perte de la tension mécanique d'un conducteur
– charges sismiques.

4.3.2 Charge de tension mécanique

La charge de tension mécanique doit être calculée sur la base de la tension mécanique maximale d'un conducteur dans les conditions locales les plus défavorables.

A titre d'exemple, voici quelques combinaisons possibles:

- –20 °C, sans glace et sans vent;
- –5 °C, avec glace et sans vent;
- +5 °C, avec vent.

4.3.3 Charge de mise en œuvre

La charge de mise en œuvre est une force d'au moins 1,0 kN appliquée à l'endroit le plus contraignant d'une structure de support, portique d'arrêt, etc.

4.3.4 Charge de glace

Dans les régions où peut se former de la glace, la charge qui en résulte sur les conducteurs souples comme sur les jeux de barres ou conducteurs rigides doit être prise en compte.

En l'absence de relevés locaux ou de statistiques, des épaisseurs de glace de 1 mm, 10 mm ou 20 mm selon les critères donnés dans la CEI 62271-1:2007 peuvent être prises en compte. La densité de la glace est prise égale à 900 kg/m^3 conformément à la CEI 60826.

4.3.5 Charge due au vent

Les charges dues au vent, qui peuvent être très différentes selon les caractéristiques topographiques locales et la hauteur des structures au-dessus du sol environnant, doivent être prises en compte. La direction du vent la plus défavorable doit être considérée.

La CEI 62271-1:2007 comporte les exigences relatives aux charges dues au vent auxquelles sont soumis les appareillages.

4.3.6 Efforts dus aux manœuvres

Les efforts dus aux manœuvres doivent être pris en compte au moment de la conception des supports. Ces efforts doivent être déterminés par le concepteur du matériel.

4.3.7 Forces de court-circuit

Une estimation des effets mécaniques d'un court-circuit peut être faite selon les méthodes détaillées dans la CEI 60865-1.

NOTE La brochure technique de la CIGRÉ «Mechanical effects of short-circuit currents in open air substations» (Effets mécaniques des courants de court-circuit dans des postes ouverts) propose un complément d'information.

4.3.8 Perte de la tension mécanique d'un conducteur

Une structure sur laquelle viennent s'accrocher des chaînes d'isolateurs doit être conçue pour résister à la perte de la tension mécanique d'un conducteur, résultant de la rupture de l'isolateur ou du conducteur responsable du cas de charge le plus défavorable.

NOTE 1 En général, il est de pratique courante de retenir pour la base de calcul 0 °C, sans charge de glace ni charge due au vent.

NOTE 2 Dans le cas de conducteurs en faisceau, la rupture d'un seul conducteur est prise comme hypothèse.

4.3.9 Charges sismiques

Les conditions et les exigences particulières doivent faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur. (Voir aussi 4.4.3.5 Vibrations).

Les installations situées dans des régions à environnement sismique doivent être conçues en prenant en compte ces conditions.

Lorsque des spécifications de charge s'appliquent à des travaux de génie civil ou à des matériels répondant à des conditions sismiques, ces spécifications doivent alors être respectées.

Les charges sismiques doivent être traitées conformément aux normes appropriées relatives aux installations électriques: par exemple la CEI 62271-207 pour les ensembles d'appareillages à isolation gazeuse, la CEI/TR 62271-300 pour les disjoncteurs et la CEI/TS 61463 pour les traversées.

Les mesures suivantes doivent être prises en compte:

a) Tout matériel individuel doit être conçu pour résister aux forces dynamiques dues aux mouvements verticaux et horizontaux du sol. Ces effets peuvent être modifiés par la réponse de la fondation et/ou des supports et/ou du sol supportant ces matériels. Le spectre de réponse du séisme doit être pris en compte lors de la conception des matériels.
b) La disposition doit être choisie afin de limiter les charges dues aux interconnexions entre des dispositifs adjacents devant supporter des mouvements, relativement importants, axiaux, latéraux, de torsion ou autres, à des valeurs acceptables. Il convient d'accorder une attention particulière aux autres contraintes pouvant se développer au cours d'un séisme.

4.3.10 Dimensionnement des structures de support

Le dimensionnement des structures de support doit être établi conformément aux codes et normes applicables. Des coefficients de sécurité sont donnés dans les règlements nationaux.

4.4 Conditions climatiques et environnementales

4.4.1 Généralités

Les installations, y compris tous les appareils et matériels auxiliaires qui font partie intégrante de celles-ci, doivent être conçues pour fonctionner dans les conditions climatiques et environnementales présentées ci-après.

La présence de condensation, projection de liquide, particules, poussières, éléments corrosifs et atmosphères dangereuses doit être spécifiée afin de pouvoir choisir les matériels électriques appropriés. La classification en zones dangereuses doit être effectuée conformément à la CEI 60079-10-1 et à la CEI 60079-10-2. Le matériel peut être choisi conformément à la série CEI 60721.

4.4.2 Conditions normales

4.4.2.1 Intérieur

a) La température ambiante de l'air ne dépasse pas 40 °C, et sa valeur moyenne, mesurée sur une période de 24 h, ne dépasse pas 35 °C.

Les températures ambiantes minimales de l'air sont les suivantes:

- –5 °C pour la classe « –5° à l'intérieur »,
- –15 °C pour la classe « –15° à l'intérieur » et
- –25 °C pour la classe « –25° à l'intérieur ».

Pour les matériels auxiliaires, tels que relais et contacteurs destinés à être utilisés à une température ambiante inférieure à –5 °C, un accord entre le fournisseur et l'utilisateur est nécessaire.

b) L'influence du rayonnement solaire peut être négligée.

c) L'altitude ne dépasse pas 1 000 m au-dessus du niveau de la mer.

d) L'air ambiant n'est pas pollué de manière significative par la poussière, la fumée, des gaz corrosifs et/ou inflammables, des vapeurs ou du sel.

e) La valeur moyenne de l'humidité relative, mesurée sur une période de 24 h, ne dépasse pas 95 %.

Dans ces conditions, une condensation peut apparaître de manière occasionnelle.

NOTE 1 Une condensation peut apparaître lors de variations subites de température au cours de périodes à fort taux d'humidité.

NOTE 2 Pour éviter le claquage de l'isolation et/ou la corrosion de parties métalliques en raison d'une humidité élevée ainsi que de la condensation, il convient d'utiliser les matériels conçus pour de telles conditions et soumis à essai en conséquence.

NOTE 3 La condensation peut être évitée par une conception particulière de l'enveloppe ou du bâtiment, par une ventilation et un chauffage adéquats du poste ou par l'utilisation d'un déshumidificateur.

f) Les vibrations dues à des causes externes pour les matériels ou à des tremblements de terre sont négligeables.

g) Il convient de considérer les perturbations électromagnétiques telles que décrites dans le Guide 107 de la CEI.

4.4.2.2 Extérieur

a) La température ambiante de l'air ne dépasse pas 40 °C, et sa valeur moyenne, mesurée sur une période de 24 h, ne dépasse pas 35 °C.

Les températures ambiantes minimales de l'air sont les suivantes:

- –10 °C pour la classe "–10° à l'extérieur",
- –25 °C pour la classe "–25° à l'extérieur",
- –30 °C pour la classe "–30° à l'extérieur" et
- –40 °C pour la classe "–40° à l'extérieur".

Il convient de prendre en compte des variations rapides de température.

Les matériels auxiliaires tels que relais et contacteurs, destinés à être utilisés à des températures ambiantes inférieures à –5 °C, doivent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

b) Il convient de tenir compte du rayonnement solaire jusqu'à 1 000 W/m^2 (à midi par temps clair).

NOTE 1 Dans certaines conditions de rayonnement solaire, des mesures appropriées, par exemple toiture, ventilation forcée, etc. peuvent être nécessaires, ou un déclassement peut être utilisé afin de ne pas dépasser les élévations de températures spécifiées.

NOTE 2 Des informations détaillées sur le rayonnement solaire global sont données dans la CEI 60721-2-4.

NOTE 3 Le rayonnement UV peut endommager certains matériaux synthétiques. Pour plus d'informations, se reporter à la série CEI 60068.

c) L'altitude ne dépasse pas 1 000 m au-dessus du niveau de la mer.

d) L'air ambiant n'est pas pollué de manière significative par la poussière, la fumée, des gaz corrosifs et/ou inflammables, de la vapeur ou du sel. La pollution ne dépasse pas la classe de pollution c - Moyen – conformément à la CEI/TS 60815-1.

e) La couche de glace ne dépasse pas 1 mm pour la classe 1, 10 mm pour la classe 10 et 20 mm pour la classe 20. Des informations complémentaires sont données en 4.3.4.

f) La vitesse du vent ne dépasse pas 34 m/s (correspondant à 700 Pa sur des surfaces cylindriques).

NOTE 4 Les caractéristiques du vent sont décrites dans la CEI 60721-2-2.

g) Il convient de prendre en compte la présence de condensation ou de précipitation. Les précipitations sous forme de rosée, condensation, brouillard, pluie, neige, glace ou givre doivent être prises en compte.

NOTE 5 Les caractéristiques de la précipitation pour l'isolation sont décrites dans la CEI 60060-1 et la CEI 60071-1. Pour les autres propriétés, ces caractéristiques sont données dans la CEI 60721-2-2.

h) Les vibrations dues à des causes externes pour les matériels ou à des tremblements de terre sont négligeables.

i) Il convient de considérer les perturbations électromagnétiques telles que décrites dans le Guide 107 de la CEI.

4.4.3 Conditions particulières

4.4.3.1 Généralités

Lorsque des matériels à haute tension sont utilisés dans des conditions différentes des conditions environnementales normales indiquées en 4.4.2, il convient que les exigences de l'utilisateur se réfèrent, par exemple, aux mesures normalisées données dans les paragraphes suivants.

4.4.3.2 Altitude

Pour des installations situées à une altitude supérieure à 1 000 m au-dessus du niveau de la mer, le niveau d'isolement pour l'isolation extérieure dans des conditions atmosphériques de référence normalisées doit être déterminé en multipliant les tensions de tenue d'isolation requises à l'emplacement de service par un facteur K_a conformément à la CEI 62271-1:2007.

NOTE 1 Pour une isolation interne sous pression, les caractéristiques diélectriques sont identiques, quelle que soit l'altitude, et aucune précaution particulière n'est requise.

NOTE 2 Pour les matériels auxiliaires et équipements de commande à basse tension, aucune précaution particulière n'est requise jusqu'à une altitude de 2 000 m au-dessus du niveau de la mer. Pour des altitudes plus élevées, voir la CEI 60664-1.

NOTE 3 La variation de pression due à l'altitude est donnée dans la CEI 60721-2-3. Concernant ce phénomène, il convient d'accorder une attention toute particulière aux points suivants:

– échanges thermiques par convection, conduction ou rayonnement;

– rendement du chauffage ou de la climatisation;

– niveau de fonctionnement des appareils sous pression;

– rendement du groupe électrogène diesel ou de l'unité d'air comprimé;

– augmentation de l'effet couronne.

NOTE 4 Le facteur de correction K_a de la CEI 62271-1:2007 reflète le fait qu'une modification n'est pas requise pour les altitudes inférieures à 1 000 m.

4.4.3.3 Pollution

Pour les matériels situés dans l'air ambiant pollué, il convient de spécifier une classe d (élevé) de pollution ambiant ou une classe e (très élevé), tel que défini dans la CEI/TS 60815-1.

4.4.3.4 Température et humidité

Pour les matériels situés en un emplacement où la température ambiante peut être très différente de la gamme de températures de fonctionnement normale indiquée en 4.4.2, il convient que les gammes préférentielles de températures minimales et maximales à spécifier soient définies comme suit:

–50 °C et +40 °C pour des climats très froids;

–5 °C et +50 °C pour des climats très chauds.

Dans certaines régions avec apparitions fréquentes de vents humides et chauds, des variations brutales de température peuvent se produire, entraînant la formation de condensation, y compris à l'intérieur.

Dans des conditions intérieures tropicales, la valeur moyenne mesurée de l'humidité relative pendant une période de 24 h peut être de 98 %.

Dans certaines installations souterraines, le matériel peut se trouver immergé. De tels matériels doivent être conçus en conséquence et des procédures de fonctionnement appropriées doivent être définies.

4.4.3.5 Vibrations

Les conditions et les exigences particulières doivent faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur. (Voir aussi 4.3.9 Charges sismiques).

Les vibrations dues au vent, aux contraintes électromagnétiques, au trafic (par exemple routier ou ferroviaire temporaires) et aux procédés industriels doivent être prises en compte. La capacité d'un matériel à résister aux vibrations doit être donnée par le constructeur.

Les contraintes en fonctionnement des matériels, pouvant être transmises par une fondation ou un plancher monolithique commun (par exemple ouverture/fermeture des disjoncteurs) doivent être prises en compte.

4.5 Exigences particulières

4.5.1 Effets dus à la présence de petits animaux et micro-organismes

Si une activité biologique (due à des oiseaux, à d'autres petits animaux ou à des micro-organismes) constitue un danger, des mesures doivent être prises pour éviter de tels dommages. Ces mesures peuvent inclure le choix approprié de matériaux, des dispositions pour empêcher l'accès, ainsi qu'un chauffage et une ventilation adéquats (pour plus de détails, se reporter à la CEI 60721-2-7).

4.5.2 Niveau de bruit

Si des limites de niveau de bruit sont imposées (en général par des autorités administratives), elles doivent être respectées par la mise en œuvre de mesures appropriées telles que

– l'adoption de techniques d'isolement phonique contre toute forme de transmission du son par l'air ou des corps solides;
– l'utilisation de matériel à faible niveau de bruit.

L'ISO 1996-1 spécifie des critères pour l'évaluation du bruit, pour différents lieux et différentes périodes de la journée.

4.5.3 Transport

Le transport sur site, par exemple de volumineux transformateurs, et les contraintes de stockage peuvent avoir des conséquences sur la conception de l'installation électrique haute tension.

5 Isolement

5.1 Généralités

Etant donné que les installations traditionnelles (isolées par l'air) ne font normalement pas l'objet d'essais de niveau de tenue au choc, l'installation exige des espaces libres minimaux entre les parties actives et la terre et entre les parties actives des phases afin d'éviter un contournement au-dessous du niveau de tenue au choc spécifié pour l'installation.

La coordination de l'isolement doit être conforme à la CEI 60071-1.

5.2 Choix du niveau d'isolement

Le niveau d'isolement doit être choisi selon la tension la plus élevée établie pour l'installation U_{m} et/ou la tension de tenue au choc.

5.2.1 Considération relative aux méthodes de mise à la terre du neutre

Il convient que le choix soit effectué principalement pour assurer la fiabilité en service en tenant compte de la méthode de mise à la terre du neutre dans le réseau et des caractéristiques et emplacements des dispositifs de limitation des surtensions à installer.

Dans les installations où un niveau élevé de sécurité est exigé, ou dans lesquelles, en raison de la configuration du réseau, de la méthode adoptée pour la mise à la terre du neutre ou de la protection par des parafoudres, il est inapproprié d'abaisser le niveau d'isolement, l'une des valeurs alternatives les plus élevées des Tableaux 1 et 2 et de l'Annexe A doit être choisie.

Dans les installations où, en raison de la configuration du réseau, de la méthode adoptée pour la mise à la terre du neutre ou de la protection par parafoudres, il est approprié d'abaisser le niveau d'isolement, les valeurs alternatives les plus basses des Tableaux 1 et 2 et de l'Annexe A sont suffisantes.

5.2.2 Considération relative aux tensions assignées de tenue au choc

Dans la plage de tensions I (1 kV $< U_{\mathrm{m}} \leq$ 245 kV), le choix doit être basé sur les tensions assignées de tenue au choc de foudre et les tensions assignées de tenue au choc à fréquence industrielle de courte durée du Tableau 1; dans la plage de tensions II ($U_{\mathrm{m}} >$245 kV), le choix doit être basé sur les tensions assignées de tenue au choc dû à la commutation et les tensions assignées de tenue au choc de foudre indiquées au Tableau 2. Les valeurs des niveaux d'isolement assignés qui n'ont pas été normalisées par la CEI, mais qui se fondent sur les méthodes courantes dans certains pays, sont énumérées dans la liste de l'Annexe A (Tableaux A.1, A.2 et A.3).

5.3 Vérification des valeurs de tenue au choc

Si les espaces libres minimaux dans l'air indiqués aux Tableaux 1 et 2 et à l'Annexe A sont maintenus, il n'est pas nécessaire de réaliser des essais diélectriques.

Si les espaces libres minimaux dans l'air ne sont pas maintenus, la capacité à tolérer des tensions d'essai du niveau d'isolement choisi doit être établie en appliquant les essais diélectriques appropriés conformément à la CEI 60060-1 pour les valeurs de tension de tenue au choc indiquées aux Tableaux 1 et 2 et à l'Annexe A.

Si les espaces libres minimaux dans l'air ne sont pas maintenus dans les parties ou les zones d'une installation, des essais diélectriques limités à ces parties ou à ces zones sont suffisants.

NOTE Conformément à l'Annexe A de la CEI 60071-2:1996, les espaces libres minimaux peuvent être abaissés s'il a été démontré par des essais ou des expérimentations de fonctionnement de plus basses surtensions.

5.4 Espaces libres minimaux des parties actives

5.4.1 Généralités

Les espaces libres minimaux dans l'air indiqués aux Tableaux 1 et 2 et à l'Annexe A s'appliquent pour des altitudes allant jusqu'à 1 000 m au-dessus du niveau de la mer. Pour des altitudes plus élevées, voir 4.4.3.2.

NOTE Certaines valeurs des espaces libres minimaux sont désignées par « N ». Il s'agit d'un symbole pour ces espaces libres minimaux sur la base desquels se fondent les distances de sécurité indiquées à l'Article 7.

Si des parties d'une installation peuvent être séparées l'une de l'autre par un sectionneur, ces parties doivent être soumises à des essais à la tension assignée de tenue au choc pour la distance d'isolement (voir Tableaux 1a et 1b ainsi que les Tableaux 2a et 2b de la CEI 62271-1:2007, Amendement 1:2011). Si entre de telles parties d'une installation, les espaces libres minimaux du Tableau 1 pour la plage I, respectivement, les espaces libres minimaux entre phases pour la plage II du Tableau 2 sont augmentés de 25 % ou plus, il n'est pas nécessaire de réaliser des essais diélectriques.

5.4.2 Espaces libres minimaux dans la plage de tensions I

Dans la plage de tensions I (voir Tableau 1), les espaces libres minimaux dans l'air sont basés sur des configurations défavorables des électrodes avec de petits rayons de courbure (c'est-à-dire plaque-tige). Etant donné que dans ces plages de tensions, la tension assignée de tenue au choc de foudre (LIWV) est la même pour l'isolement entre phases et l'isolement phase-terre, les espaces libres s'appliquent aux deux distances d'isolement.

5.4.3 Espaces libres minimaux dans la plage de tensions II

Dans la plage de tensions II (voir Tableau 2), les espaces libres dans l'air sont déterminés par la tension assignée de tenue au choc dû à la commutation (SIWV). Ils dépendent en grande partie des configurations des électrodes. En cas de difficulté de classement de la configuration des électrodes, il est recommandé de faire un choix sur la base des espaces libres entre phase et terre de la configuration la plus défavorable, telle que, par exemple, le bras d'un isolateur par rapport à la construction de la tour (structure-tige).

Tableau 1 – Distances minimales d'isolement dans l'air – Plage de tensions I
(1 kV < U_m ≤ 245 kV)

Plage de tensions	Tension la plus élevée pour l'installation	Tension assignée de tenue au choc à fréquence industrielle de courte durée	Tension assignée de tenue au choc de foudre [a]	Espace libre minimal entre phases et terre et entre phases N	
	U_m eff.	U_d eff.	U_p 1,2/50 µs (valeur de crête)	Installations intérieures	Installations extérieures
	kV	kV	kV	mm	mm
I	3,6	10	20	60	120
			40	60	120
	7,2	20	40	60	120
			60	90	120
	12	28	60	90	150
			75	120	150
			95	160	160
	17,5	38	75	120	160
			95	160	160
	24	50	95	160	
			125	220	
			145	270	
	36	70	145	270	
			170	320	
	52	95	250	480	
	72,5	140	325	630	
	123	185 [b]	450 [b]	900	
		230	550	1 100	
	145	185 [b]	450 [b]	900	
		230	550	1 100	
		275	650	1 300	
	170	230 [b]	550 [b]	1 100	
		275	650	1 300	
		325	750	1 500	
	245	275 [b]	650 [b]	1 300	
		325 [b]	750 [b]	1 500	
		360	850	1 700	
		395	950	1 900	
		460	1 050	2 100	

[a] La tenue assignée au choc de foudre est applicable entre phases et entre phase et terre.

[b] Si les valeurs sont considérées comme insuffisantes pour démontrer que les tensions exigées de tenue au choc entre phases sont obtenues, des essais supplémentaires de tenue au choc entre phases sont nécessaires.

Tableau 2 – Distances minimales d'isolement dans l'air – Plage de tensions II (U_m > 245 kV)

Plage de tensions	Tension la plus élevée pour l'installation	Tension assignée de tenue aux chocs de foudre [a]	Tension assignée de tenue au choc de manœuvre	Espace libre minimal entre phase et terre		Tension assignée de tenue au choc de manœuvre	Espace libre minimal entre phases	
	U_m efficace	U_p 1,2/50 µs (valeur de crête)	U_s Phase à terre 250/2 500 µs (valeur de crête)	Conducteur – structure	Tige – structure N	U_s entre phases 250/2 500 µs (valeur de crête)	Conducteur – parallèle conducteur	Tige – conducteur
	kV	kV	kV	mm		kV	mm	
II	300	850/950	750	1 600 1 700 [b]	1 900	1 125	2 300	2 600
		950/1 050	850	1 800 1 900 [b]	2 400	1 275	2 600	3 100
	362	950/1 050	850	1 800 1 900 [b]	2 400	1 275	2 600	3 100
		1 050/1 175	950	2 200	2 900	1 425	3 100	3 600
	420	1 050/1 175	850	1 900 2 200 [b]	2 400	1 360	2 900	3 400
		1 175/1 300	950	2 200 2 400 [b]	2 900	1 425	3 100	3 600
		1 300/1 425	1 050	2 600	3 400	1 575	3 600	4 200
	550	1 175/1 300	950	2 200 2 400 [b]	2 900	1 615	3 700	4 300
		1 300/1 425	1 050	2 600	3 400	1 680	3 900	4 600
		1 425/1 550	1 175	3 100	4 100	1 763	4 200	5 000
	800	1 675/1 800	1 300	3 600	4 800	2 210	6 100	7 400
		1 800/1 950	1 425	4 200	5 600	2 423	7 200	9 000
		1 950/2 100	1 550	4 900	6 400	2 480	7 600	9 400
	1 100	1 950/2 100	1 425 [c]	4 200	5 600	-	-	-
		2 100/2 250	1 550	4 900	6 400	2 635	8 400 [d]	10 000 [d]
		2 250/2 400	1 675	5 600 [d]	7 400 [d]	2 764	9 100 [d]	10 900 [d]
		2 400/2 550	1 800	6 300 [d]	8 300 [d]	2 880	9 800 [d]	11 600 [d]
	1 200	2 100/2 250	1 675	5 600 [d]	7 400 [d]	2 848	9 600 [d]	11 400 [d]
		2 250/2 400	1 800	6 300 [d]	8 300 [d]	2 970	10 300 [d]	12 300 [d]
		2 550/2 700	1 950	7 200 [d]	9 500 [d]	3 120	11 200 [d]	13 300 [d]

[a] La tension assignée de tenue aux chocs de foudre est applicable entre phases et entre phase et terre.

[b] Espace libre minimal exigé pour la valeur supérieure de la tension assignée de tenue aux chocs de foudre.

[c] Cette valeur est applicable uniquement à l'isolation entre phase et terre des matériels monophasés non exposés à l'air.

[d] Les valeurs d'essai sont toujours à l'étude.

5.5 Espaces libres minimaux entre les parties dans des conditions spéciales

Les espaces libres minimaux entre les parties d'une installation qui peuvent être soumises à une opposition de phases doivent être de 20 % supérieurs aux valeurs indiquées aux Tableaux 1 et 2 et à l'Annexe A.

Les espaces libres minimaux entre les parties d'une installation auxquelles sont affectés des niveaux d'isolement différents, doivent correspondre au moins à 125 % des espaces libres minimaux du niveau d'isolement le plus élevé.

Si les conducteurs oscillent sous l'influence de forces de court-circuit, un minimum doit être maintenu à 50 % au moins des espaces libres minimaux par rapport aux valeurs des Tableaux 1 et 2 et de l'Annexe A.

Si les conducteurs oscillent sous l'influence du vent, un minimum doit être maintenu à 75 % au moins des espaces libres minimaux par rapport aux valeurs des Tableaux 1 et 2 et de l'Annexe A.

En cas de rupture d'une sous-chaîne dans une chaîne d'isolateurs multiples, un minimum doit être maintenu à 75 % des espaces libres minimaux par rapport aux valeurs des Tableaux 1 et 2 et de l'Annexe A.

Si ni le point du neutre ni un conducteur de phase ne sont effectivement mis à la terre dans une installation qui est alimentée par des autotransformateurs, l'isolement du côté de la tension la plus basse doit avoir une valeur assignée conforme à la plus haute tension des matériels du côté de la tension la plus élevée. Il convient de veiller à ce que l'isolement des points du neutre soit effectué conformément à la méthode de mise à la terre du neutre.

5.6 Zones de connexion soumises à essai

Les informations concernant les conditions de montage et de service des matériels soumis à un essai de type et fournies par le constructeur doivent être respectées sur le site.

NOTE Dans les zones de connexion soumises à essai, il n'est pas nécessaire de maintenir les espaces libres minimaux conformes aux Tableaux 1 et 2 et à l'Annexe A étant donné que la capacité de supporter la tension d'essai est établie par un essai de type diélectrique.

6 Matériels

6.1 Exigences générales

6.1.1 Choix

Les matériels doivent être choisis et installés de façon à ce qu'ils satisfassent aux exigences suivantes:

a) construction sans danger lorsque les matériels sont assemblés, installés et connectés de manière appropriée à la source d'alimentation;

b) performance appropriée et sûre en tenant compte des influences extérieures prévisibles à l'emplacement prévu;

c) performance appropriée et sûre pendant le fonctionnement normal et en cas de conditions raisonnablement prévues des surcharges, de fonctionnement anormal et de panne, sans qu'il en résulte de détériorations qui rendraient les matériels dangereux;

d) protection du personnel pendant l'utilisation et la maintenance des matériels.

6.1.2 Conformité

Les matériels doivent être conformes aux normes CEI pertinentes en accordant une attention toute particulière au Guide 107 de la CEI et au Guide ISO/CEI 51.

Si la conformité à des procédures de fonctionnement et de sécurité spécifiques à une certaine installation est requise, des exigences complémentaires doivent être spécifiées par l'utilisateur.

6.1.3 Sécurité du personnel

Une attention toute particulière doit être accordée à la sécurité du personnel au cours de l'installation, du fonctionnement et de la maintenance des matériels.

Cela peut inclure

a) des manuels et des instructions concernant le transport, l'entreposage, l'installation, l'exploitation et la maintenance,
b) des outils spéciaux exigés pour le fonctionnement, la maintenance et les essais,
c) des méthodes de travail sans danger, établies pour des emplacements spécifiques,
d) des moyens sûrs de mise à la terre.

6.2 Exigences spécifiques

6.2.1 Dispositifs de coupure

Une disposition doit être prévue pour indiquer la position des contacts du matériel de sectionnement (y compris les sectionneurs de mise à la terre). L'utilisateur doit spécifier la méthode d'indication, en conformité avec la norme relative au matériel.

L'indicateur de position doit fournir une indication précise de la position réelle des contacts primaires des matériels.

Le dispositif indicateur de position ouverte/fermée doit être facilement visible pour l'opérateur.

Des appareils de sectionnement et de mise à la terre doivent être installés de façon à ce qu'ils ne puissent pas être mis en fonctionnement par inadvertance, par tension ou par pression, exercée manuellement sur les enchaînements opérationnels.

Lorsque l'utilisateur le spécifie, des dispositifs de verrouillage et/ou d' enclenchement doivent être installés pour fournir un dispositif de protection contre un fonctionnement inapproprié.

Si un système d'interverrouillage est prévu afin d'empêcher le sectionneur de mise à la terre de supporter la totalité du courant de court-circuit, il est admis, selon accord avec l'utilisateur, de spécifier une valeur assignée réduite pour cet appareil qui reflète sa contrainte éventuelle de courant de court-circuit.

Les matériels doivent être installés d'une manière telle que le gaz ionisé libéré pendant la commutation n'entraîne pas de détériorations des matériels ou de dangers pour le personnel d'exploitation.

NOTE Le mot «détérioration» est considéré comme désignant tout défaut du matériel qui nuit à son bon fonctionnement.

Les caractéristiques assignées de l'appareillage doivent être basées sur les normes CEI haute tension appropriées. La commutation de certains circuits peut cependant exiger l'usage de contraintes plus sévères que celles définies dans ces normes. Des exemples de tels circuits sont les bancs de filtres et les charges dont les rapports X/R sont élevés, tels que les gros transformateurs et générateurs. Les exigences spécifiques relatives aux appareillages nécessaires à de tels circuits doivent faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur.

6.2.2 Transformateurs de puissance et réactances

Sauf indication contraire, le présent paragraphe s'applique tant aux transformateurs qu'aux réactances, même si le texte ne fait référence qu'aux seuls transformateurs.

Les principaux critères de choix pour les transformateurs sont indiqués dans les Articles 4 et 8.

Les transformateurs sont classés en tenant compte du diélectrique en contact avec l'enroulement et du type de refroidissement intérieur ou extérieur, tel que décrit à l'Article 3 de la CEI 60076-2:1993.

Lors de la conception de l'installation des transformateurs, il doit être tenu compte de la possibilité de propagation des incendies (voir 8.7). De façon analogue, et si cela s'avère nécessaire, des moyens de limiter le niveau de bruit acoustique doivent être mis en place (voir 4.5.2).

Pour les transformateurs installés à l'intérieur, une ventilation adéquate doit être fournie (voir 7.5.7).

Les eaux (nappes phréatiques, eaux de ruissellement et eaux usées) ne doivent pas être contaminées par les installations de transformateurs. Cet objectif doit être atteint par le choix de la conception du type de transformateur et/ou des dispositions du site. Pour les mesures, voir 8.8.

S'il se révèle nécessaire de prélever des échantillons (échantillons d'huile) ou de lire les données des appareils de surveillance continue (tels qu'indicateurs de niveau des fluides, de température ou de pression) qui sont importants pour le fonctionnement du transformateur, alors que le transformateur est sous tension, il doit être possible de réaliser ces opérations en toute sécurité et sans aucune détérioration des matériels.

Des réactances à noyau d'air doivent être installées de telle façon que le champ magnétique du courant de court-circuit ne soit pas en mesure d'attirer des objets dans la bobine. Les matériels voisins doivent être conçus de manière à résister aux forces électromagnétiques résultantes. Les pièces métalliques voisines, telles que renforcements de fondations, clôtures et grilles de mise à la terre, ne doivent pas être soumises à une montée en température excessive dans des conditions de charge normales.

Il convient de minimiser le risque de détérioration des transformateurs dû à des contraintes excessives résultant de la ferrorésonance, des harmoniques et d'autres causes, par des études et des mesures appropriées du réseau.

Lorsque des limiteurs de pression sont utilisés pour les transformateurs, ils doivent être mis en œuvre de manière à diriger la surpression d'huile vers le bas et à l'écart des emplacements de commande où le personnel est susceptible de se trouver.

6.2.3 Appareillage préfabriqué soumis à un essai de type

Les exigences pour l'appareillage à enveloppe métallique isolée au gaz (GIS), l'appareillage à enveloppe métallique, l'appareillage à enveloppe d'isolement et les autres ensembles d'appareillages préfabriqués soumis à un essai de type sont données en 7.4. Pour la sécurité du personnel et la manipulation du gaz, se reporter à 8.8.3 et 9.4.

6.2.4 Transformateurs de mesure

Les circuits secondaires des transformateurs de mesure doivent être reliés à la terre ou les circuits secondaires doivent être séparés par des écrans métalliques mis à la terre conformément aux recommandations de l'Article 10.

Le point du circuit secondaire qui peut être mis à la terre doit être déterminé de façon à éviter toute interférence électrique.

Les transformateurs de mesure doivent être installés de façon à ce que leurs bornes du secondaire soient facilement accessibles lorsque l'ensemble de l'appareillage est mis hors tension.

6.2.4.1 Transformateurs de courant

Le facteur assigné de surintensité de courant et la charge assignée doivent être choisis de manière à assurer un fonctionnement approprié des dispositifs de protection et à éviter la détérioration des appareils de mesure en cas de court-circuit.

Dans les réseaux à haute tension où la constante de temps primaire est longue et où s'effectue un réenclenchement, il est recommandé de tenir compte de la contrainte transitoire due à la partie apériodique du courant de court-circuit. Il convient de tenir compte des recommandations de la CEI 60044-6.

Si des instruments de mesure sont également connectés aux noyaux de protection des transformateurs de courant, ils doivent, si nécessaire, être protégés contre les détériorations résultant de forts courants de court-circuit au moyen de transformateurs auxiliaires appropriés.

Si nécessaire, un écran efficace entre les circuits primaire et secondaire doit être fourni afin de réduire les surtensions transitoires sur les circuits secondaires découlant de l'opération de commutation.

Pour assurer la protection contre les surtensions dangereuses, des dispositions doivent être prises afin de faciliter la mise en court-circuit des enroulements du secondaire des transformateurs de courant.

6.2.4.2 Transformateurs de tension

Les transformateurs de tension doivent être choisis de sorte à ce que la sortie nominale et la précision soient appropriées aux matériels connectés et au câblage. Les effets de ferrorésonance doivent être pris en compte.

Le côté secondaire des transformateurs de tension doit être protégé contre les effets des courts-circuits et il est recommandé que les dispositifs de protection soient surveillés en permanence.

6.2.5 Parafoudres

Les parafoudres doivent être conçus ou positionnés de manière à assurer la sécurité du personnel en cas de rupture du logement ou du fonctionnement de tout limiteur de pression.

Les caractéristiques temps-tension des parafoudres installés dans le même circuit que les fusibles de protection doivent tenir compte des surtensions produites par les fusibles.

Si des appareils de surveillance sont fournis dans le conducteur de terre des parafoudres de type non linéaire à résistance, le conducteur entre un parafoudre et l'appareil de surveillance, et l'appareil de surveillance lui-même, doit alors être protégé de façon à éviter qu'il ne soit touché. Il doit être possible de lire les données des appareils de surveillance lorsque les appareils sont sous tension.

6.2.6 Condensateurs

Le risque de résonance et de surtensions dû aux harmoniques doit être pris en compte, et des moyens appropriés de le limiter doivent être adoptés.

L'augmentation de la tension due aux réactances inductives branchées en série, telles que réactances d'amortissement et circuits de filtres ou de fréquences sonores, doit être prise en compte lors du choix de la tension assignée et de la capacité de courant des condensateurs.

Des condensateurs de couplage, de mesure de la tension et de protection contre les surtensions, doivent être choisis selon la tension assignée de l'appareillage, même si la tension d'exploitation est plus faible.

La décharge des condensateurs de puissance doit être garantie sans danger. Les appareils de décharge doivent être en mesure d'assurer le fonctionnement du point de vue thermique et mécanique.

Les dispositifs de mise en court-circuit et de mise à la terre fournis pour une batterie de condensateurs doivent tenir compte de l'interconnexion des appareils au sein de la batterie, des résistances de décharge et du type de fusibles.

6.2.7 Circuits-bouchons

La largeur de bande doit être déterminée conformément à l'attribution de fréquences du réseau.

6.2.8 Isolateurs

Sauf spécification contraire, la distance de fuite minimale spécifique des isolateurs doit être conforme aux recommandations des CEI/TS 60815-1, CEI/TS 60815-2 et CEI/TS 60815-3 en ce qui concerne le niveau de pollution spécifié par l'utilisateur.

Les exigences de la méthode d'essai humide de la CEI 62271-1:2007 doivent s'appliquer à tous les isolements extérieurs.

Les profils et/ou les exigences de performance relatifs aux isolateurs extérieurs dans des conditions de pollution ou d'humidité importante peuvent être spécifiés par l'utilisateur.

6.2.9 Câbles isolés

6.2.9.1 Température

Les câbles isolés doivent être choisis et posés de sorte à ce que la température maximale autorisée ne soit pas dépassée en ce qui concerne les conducteurs, leur isolement, les connexions, les bornes des matériels ou les environnements dans les conditions suivantes:

a) fonctionnement normal;
b) conditions de fonctionnement particulières, soumises à un accord préalable entre le fournisseur et l'utilisateur;
c) court-circuit.

Le branchement d'un câble aux matériels (par exemple, moteurs, disjoncteurs) ne doit pas entraîner la soumission du câble à des températures plus élevées que celles autorisées pour le câble dans des conditions opérationnelles prévisibles.

6.2.9.2 Contrainte due aux changements de température

La contrainte subie par les matériels en raison des changements de température sur la longueur des conducteurs doit être prise en compte. Si nécessaire, la contrainte doit être éliminée au moyen de mesures appropriées (par exemple, connexions flexibles, embouts de dilatation ou serpentés). Si ces mesures ne sont pas adoptées, il doit être tenu compte des forces supplémentaires dues aux changements de température lors de la vérification de la résistance mécanique des matériels.

6.2.9.3 Câbles rampants et à bobinage souples

Les câbles rampants et à bobinage souples doivent être choisis conformément aux exigences et conditions suivantes:

a) des câbles rampants, ou des câbles ayant des caractéristiques électriques et mécaniques au moins équivalentes, doivent être utilisés pour fournir l'énergie aux matériels de levage, mobiles ou amovibles;

b) dans le cas de contraintes mécaniques plus importantes, par exemple, lorsque les câbles sont soumis à l'abrasion, la tension, la flexion ou l'enroulement en cours de fonctionnement, des câbles rampants à double gaine ou des câbles ayant des caractéristiques électriques ou mécaniques au moins équivalentes doivent être utilisés;

c) les câbles isolés destinés à l'alimentation en énergie de matériels de levage mobiles ou amovibles doivent être équipés d'un conducteur de mise à la terre de protection;

d) la conception d'une quelconque connexion, qu'il s'agisse d'un raccord, d'une terminaison ou d'un autre agencement de la connexion, doit être telle qu'au cas où une contrainte serait appliquée sur le câble, le conducteur de protection doit être le dernier élément à s'en détacher ou à s'en séparer;

e) les câbles isolés qui doivent être enroulés sur un tambour doivent être dimensionnés de façon telle que, lorsque le conducteur est totalement enroulé et soumis à la charge nominale normale, la température maximale autorisée n'est pas dépassée.

Les embouts des câbles rampants souples ne doivent pas être soumis à des tensions ou des compressions; les gaines des câbles doivent être protégées contre le déchirement et les embouts contre les torsions. Les embouts doivent être également conçus de manière que les câbles ne se vrillent pas.

6.2.9.4 Traversées et proximités

Lorsque des câbles isolés traversent ou se trouvent près de canalisations de gaz, d'eau ou autres canalisations, un espace libre minimal approprié doit être maintenu entre les câbles et les canalisations. Lorsque cet espace libre minimal ne peut être maintenu, on doit empêcher tout contact entre les câbles et les canalisations, par exemple, en insérant des coques ou des plaques d'isolement. Ces mesures doivent être coordonnées avec l'opérateur de la canalisation. Dans le cas d'un long routage parallèle, on doit effectuer un calcul de la surtension induite sur la canalisation pendant un court-circuit. Il peut se révéler nécessaire de déterminer des mesures appropriées (par exemple, un routage alternatif pour les câbles ou les canalisations ou un plus grand espace libre entre les câbles et les canalisations).

Lorsque des câbles isolés traversent ou se trouvent à proximité d'installations de télécommunications, un espace libre minimal approprié doit être maintenu entre les câbles et les installations de télécommunications.

Dans le cas d'un long routage parallèle, la surtension induite sur l'installation de télécommunications pendant un court-circuit doit être calculée (comme guide, se référer aux directives de l'UIT). Il peut se révéler nécessaire d'adopter des mesures appropriées afin de réduire cette surtension (un routage alternatif pour les câbles ou les installations de télécommunications, un plus grand espace libre entre les câbles et les installations de télécommunications).

Lorsque des câbles isolés traversent ou se trouvent à proximité d'autres câbles isolés, les effets thermiques réciproques doivent être calculés afin de déterminer l'espace libre minimal entre les câbles ou de déterminer d'autres mesures appropriées (par exemple, déclassement). Les câbles doivent être installés à une distance suffisante de sources de chaleur ou doivent être séparés de telles sources de chaleur au moyen d'écrans d'isolement thermique.

NOTE Il convient que la traversée et la proximité de câbles isolés, de canalisations de gaz, d'eau ou autres canalisations et leur espace libre minimal approprié soient conformes aux réglementations et normes nationales.

6.2.9.5 Installation des câbles

Il doit être prévu suffisamment de points d'accès pour la maintenance et la vérification des câbles par essai (voir l'Article 11).

Il convient de veiller à la protection du câble contre les détériorations mécaniques pendant et après leur installation, de la manière suivante:

a) pour éviter toute détérioration du câble, les opérations de pose doivent être réalisées à la température ambiante telle que spécifiée par les normes des matériels ou par le constructeur;

b) les câbles isolés à un conducteur doivent être posés de manière à assurer que les forces résultant de courants de court-circuit n'entraînent aucune détérioration;

c) la méthode de pose doit être choisie afin de s'assurer que les effets extérieurs sont limités à des valeurs de sécurité acceptables. En outre, lorsqu'ils sont enterrés dans des tranchées, les câbles doivent être installés à une profondeur spécifique et couverts par des dalles ou une grille avec avertissement afin d'empêcher tout dommage causé par des tiers. Il convient que les câbles souterrains et sous-marins soient protégés mécaniquement lorsqu'ils émergent de l'eau ou du sol;

d) la pose de câbles dans la terre doit être réalisée dans le fond d'une tranchée à câbles exempte de cailloux. L'assise doit consister en du sable ou de la terre sans cailloux. Des constructions spéciales de câbles peuvent être choisies, si nécessaire, afin d'assurer une protection contre les incidences chimiques;

e) des mesures doivent être prises pour éviter que les câbles dans les tranchées ne soient endommagés par les véhicules qui circulent au-dessus des tranchées;

f) les mouvements et les vibrations du sol doivent être pris en compte;

g) pour les installations verticales, le câble approprié à l'installation doit être soutenu au moyen d'isolateurs appropriés à gorge à des espaces libres déterminés par la construction du câble et les informations fournies par le constructeur.

h) si des câbles unipolaires sont installés dans des plafonds et des murs renforcés, la possibilité d'échauffement des barres de renforcement en acier doit être prise en compte. Si nécessaire, des mesures structurelles appropriées pour limiter l'échauffement doivent être déterminées.

Les câbles installés dans des conduits métalliques doivent être regroupés d'une manière telle que les conducteurs de toutes les phases (et le neutre, le cas échéant) du même circuit soient posés dans le même conduit afin de minimiser les courants de Foucault. Il convient de prendre en considération l'emplacement du conducteur de mise à la terre.

Les câbles isolés doivent être installés de façon que les tensions de contact se situent dans la fourchette de valeurs autorisées ou de manière que les parties accessibles avec tensions de contact inadmissibles soient protégées contre les contacts au moyen de mesures appropriées.

NOTE Un risque peut exister en ce qui concerne la présence de courants élevés circulant dans les écrans des câbles unipolaires gainés, en particulier lorsqu'ils sont posés à plat.

Les gaines métalliques doivent être mises à la terre conformément à l'Article 10.

La longueur des câbles qui raccordent les transformateurs et les réactances à un circuit doit être choisie de façon à minimiser la production de ferrorésonances.

On doit veiller à limiter les contraintes mécaniques sur les matériels lors de leur connexion aux câbles de puissance.

6.2.9.6 Rayon de courbure

Les valeurs minimales du rayon de courbure pendant et après l'installation dépendent du type de câble. Elles sont indiquées dans les normes correspondantes ou elles doivent être spécifiées par le constructeur.

6.2.9.7 Contrainte de traction

La contrainte maximale de traction autorisée pendant la pose dépend de la nature du conducteur et du type de câble. Elle est indiquée dans les normes correspondantes ou elle doit être spécifiée par le constructeur.

La contrainte de traction statique continue et de crête appliquée aux conducteurs de câbles souples et rampants doit être aussi faible que possible et ne doit pas dépasser les valeurs fournies par le constructeur.

6.2.10 Conducteurs et accessoires

Le présent paragraphe traite des conducteurs (rigides ou souples) et des accessoires qui font partie intégrante des départs de lignes d'alimentation ou des jeux de barres dans les installations.

Les conducteurs couverts doivent être traités comme des conducteurs nus.

Des dispositions doivent être prises pour permettre la dilatation et la contraction des conducteurs dues aux variations de température. Cela ne doit pas s'appliquer lorsque la contrainte due aux variations de température a été prévue dans la conception du système de conducteurs.

Les raccords entre les conducteurs, et les connexions entre les conducteurs et les matériels ne doivent pas présenter de défauts ni se détériorer en cours de service. Ils doivent être stables du point de vue mécanique et chimique. Les faces des raccords doivent être adéquatement préparées et connectées comme spécifié pour le type de connexion. La montée en température d'une connexion entre des conducteurs et l'appareillage en service ne doit pas dépasser les valeurs spécifiées dans la CEI 62271-1:2007.

NOTE Il convient d'obturer les extrémités des jeux de barres tubulaires afin d'éviter la corrosion et les nichées d'oiseau.

Des dispositions doivent être prises pour éviter une oscillation résonante éventuelle des jeux de barres tubulaires provoquée par le vent.

6.2.11 Machines électriques tournantes

Le risque de lésions corporelles dues à des défauts dans les boîtes à bornes des machines doit être réduit au minimum. Les boîtes à bornes des moteurs doivent tolérer les conditions locales de court-circuit. Des dispositifs de limitation de courant peuvent être nécessaires.

Le degré de protection de l'équipement contre la pénétration d'objets, de poussière et d'eau doit être choisi conformément aux conditions climatiques et environnementales au site de l'installation. Les pièces dangereuses des machines doivent être protégées contre des contacts accidentels avec les personnes. Le degré de protection doit être défini conformément à la CEI 60529.

Le niveau d'isolement de la machine doit être choisi conformément à la CEI 60034-1.

Un refroidissement suffisant doit être prévu.

NOTE Il convient de protéger les machines contre le dépassement de la montée en température maximale autorisée grâce à l'utilisation de dispositifs de protection électrique appropriés. En particulier, en ce qui concerne

les grosses machines ou celles qui ont un caractère critique pour un procédé de production, il convient d'installer des dispositifs de protection qui indiquent un défaut interne de la machine ou, si nécessaire, l'arrêtent automatiquement.

La conception globale de l'installation doit identifier les exigences pour le type d'enveloppe du moteur, particulièrement si le moteur doit être installé dans une zone dangereuse. En complément, des aspects de sécurité tels que les niveaux de bruit, la température maximale des surfaces accessibles au personnel, le contrôle des fuites et la surveillance, doivent satisfaire aux exigences particulières de l'installation.

Le démarrage de moteurs de forte puissance engendre des chutes de tension dans le réseau électrique de distribution. Différentes techniques sont disponibles pour réduire l'impact sur le réseau électrique lors de démarrage de moteurs de forte puissance. Le dispositif de protection doit être conçu pour assurer une protection appropriée du moteur lors de sa séquence complète de démarrage.

La contribution au courant de court-circuit des moteurs de forte puissance doit être prise en considération.

6.2.12 Générateurs

Le type de caractéristique assignée de puissance du générateur doit être spécifié (par exemple, puissance continue, principale ou de secours). Il convient de spécifier le fonctionnement du générateur en parallèle avec le réseau ou d'autres générateurs. Les dispositifs de commutation à employer pour la synchronisation doivent être définis.

La conception globale de l'installation doit identifier les exigences générales de sécurité spécifiques au matériel, particulièrement pour la protection contre l'incendie et l'utilisation de l'hydrogène. Voir la CEI 60034-3.

6.2.13 Connexions principales du générateur

Pour des générateurs de faible puissance, le choix et la spécification des connexions principales du générateur (jeux de barres) peuvent se fonder sur les articles appropriés de la CEI 62271-200.

Toutefois, un soin particulier doit être accordé au choix des courants établis de crête assignés. Il peut également être nécessaire de spécifier des essais ou des calculs supplémentaires pour les connexions non préfabriquées et non soumises à des essais de type.

Si nécessaire, des études de défauts doivent être menées pour déterminer les courants établis de crête et de tenue au choc de courte durée, particulièrement pour les connexions de sections réduites (par exemple, pour les transformateurs auxiliaires).

Pour des générateurs de forte puissance, et lorsqu'un niveau de sécurité plus élevé est exigé, il est recommandé d'employer des jeux de barres à phases isolées ou à phases séparées.

L'impact des champs magnétiques dus à l'utilisation de connexions principales des générateurs sans enveloppe métallique doit être considéré dans la conception de l'installation.

La conception doit prendre en compte le fait que lorsqu'un générateur n'est pas connecté au réseau, mais tourne à faible vitesse afin d'éviter toute déformation de l'arbre d'entraînement du générateur:

a) il existe une possibilité de tensions induites potentiellement dangereuse; et
b) des moyens doivent être mis en œuvre pour modifier la position du commutateur sur les transformateurs directement reliés aux bornes du générateur.

NOTE Lorsque les connexions entre le générateur et le transformateur sont courtes, il convient de prévoir l'ajout de condensateurs dans l'appareillage de connexion afin de limiter les surtensions pouvant apparaître lors de la commutation.

6.2.14 Convertisseurs statiques

Les pièces accessibles des appareils convertisseurs qui peuvent transporter une tension dangereuse au cours de leur fonctionnement normal ou dans des conditions de défaut doivent être marquées et protégées de manière appropriée contre tout contact accidentel avec les personnes. Cela peut se faire par la mise en place de barrières de protection appropriées.

Les fluides de transfert de froid et de chaleur ne doivent pas contenir de polluants mécaniques ou de composants chimiquement agressifs susceptibles d'entraîner un dysfonctionnement du matériel.

Lorsque l'on utilise de l'eau comme fluide de refroidissement, la possibilité de corrosion due à des courants de fuite (courants dus à la conductivité de l'eau) doit être prise en compte.

Lorsque l'on utilise de l'huile comme fluide de refroidissement, une protection analogue contre l'incendie et la pollution des nappes phréatiques doit être assurée; il en est de même pour les transformateurs et les réactances remplis d'huile.

Au moment de la planification de la disposition des appareils convertisseurs, la possibilité d'interférence magnétique occasionnée par des courants alternatifs élevés sur d'autres matériels ou parties de l'installation, en particulier les composants en acier, doit être prise en compte.

6.2.15 Fusibles

6.2.15.1 Espaces libres

Les espaces libres électriques minimaux pour les installations d'ensembles de fusibles doivent tenir compte de toutes les positions possibles des parties actives avant, pendant et après le fonctionnement.

Des fusibles ouverts doivent être pourvus de distances d'isolement adéquates ou de barrières de protection appropriées dans la ou les directions où les ouvertures sont orientées. Les décharges provenant de fusibles ouverts peuvent contenir des gaz chauds, du plasma d'arc et du métal fondu. Elles peuvent également être conductrices.

Des dispositifs doivent être installés afin de s'assurer que le personnel n'est pas exposé aux décharges des fusibles ouverts soit pendant leur remplacement soit lorsque ce personnel travaille dans la zone concernée. Lorsque cela n'est pas possible, il convient que le circuit qui alimente les fusibles soit mis hors tension préalablement aux expositions possibles, ou encore que le personnel utilise des vêtements et des blindages de protection.

6.2.15.2 Remplacement des fusibles

Les fusibles doivent être installés de façon que leur remplacement puisse être réalisé en toute sécurité conformément aux instructions du constructeur.

NOTE Il convient que le personnel chargé des opérations et de la maintenance dispose de toutes les informations nécessaires afin de choisir de manière adéquate les fusibles de remplacement.

6.2.16 Interverrouillage électrique et mécanique

L'interverrouillage peut être nécessaire pour s'assurer de la réalisation correcte d'une séquence d'opération sur le matériel, afin de prévenir tout risque pour le personnel et tout dommage du matériel.

L'interverrouillage peut être réalisé par des moyens électriques ou mécaniques. Dans le cas de perte d'alimentation, des dispositifs d'interverrouillage électrique doivent être conçus de façon à ce qu'ils restent en position de sécurité.

7 Installations

7.1 Exigences générales

En ce qui concerne les installations, le présent article ne stipule que des exigences générales relatives au choix de l'agencement du circuit, de la documentation du circuit, des voies de circulation, de l'éclairage, de la sécurité opérationnelle et de l'étiquetage.

Les distances, espaces libres et dimensions spécifiés représentent des valeurs minimales autorisées pour une exploitation en toute sécurité. Ils se fondent en général sur les valeurs minimales données dans les anciennes normes nationales des membres de la CEI. Si nécessaire, un utilisateur peut spécifier des valeurs plus élevées.

NOTE Pour les espaces libres minimaux (N) des parties actives, se référer à 5.4 et aux Tableaux 1 et 2 et à l'Annexe A.

Les normes et réglementations nationales peuvent exiger l'utilisation de valeurs plus élevées pour les espaces libres minimaux.

Lorsqu'une installation existante doit être agrandie, les exigences applicables au moment de sa conception et de sa construction peuvent être spécifiées en tant que variante.

En outre, les normes applicables concernant le fonctionnement des installations (de puissance) électriques doivent être prises en compte. Des procédures de fonctionnement doivent être définies par l'utilisateur (voir 7.1.1).

7.1.1 Agencement des circuits

L'agencement des circuits doit être choisi de façon à satisfaire aux exigences opérationnelles et à permettre la mise en œuvre des exigences de sécurité conformément à 8.3. La continuité du service dans des conditions de défaut et de maintenance, compte tenu de la configuration du réseau, doit également être prise en considération. Les circuits doivent être agencés de manière à ce que les opérations de commutation puissent avoir lieu rapidement et en toute sécurité.

Chaque système séparé électriquement doit être fourni avec un dispositif indicateur de défaut à la terre qui permet la détection ou la coupure d'un défaut à la terre.

On doit s'assurer que les sections isolées d'une installation ne peuvent pas être, par inadvertance, mises sous tension à travers la tension de sources secondaires connectées en parallèle (par exemple, transformateurs de mesure).

Les dispositifs d'isolement accessibles au public doivent pouvoir être verrouillés.

Les installations doivent être en mesure de supporter les contraintes dynamiques et thermiques découlant d'un courant de court-circuit conformément à l'Article 4.

L'agencement des circuits peut, toutefois, être configuré de manière à ce que des sections de l'installation qui fonctionnent normalement de manière séparée soient interconnectées pendant de courtes périodes au cours d'opérations de commutation, même lorsque, à la suite d'une telle connexion, le courant de court-circuit dépasse la valeur assignée de conception de l'installation. Dans de tels cas, des mesures de protection appropriées doivent être adoptées pour éviter tout danger pour le personnel. Des méthodes opérationnelles définies peuvent être exigées dans ce but.

NOTE 1 Cette situation peut être inévitable, en fonctionnement, si, par exemple, les lignes d'alimentation sont commutées d'un jeu de barres à l'autre.

Dans les circuits qui possèdent des dispositifs de protection contre les surintensités, les matériels et les connexions courtes peuvent avoir des valeurs assignées qui correspondent au courant de coupure (traversée) du dispositif de protection contre les surintensités.

NOTE 2 Les matériels situés entre le jeu de barres et les dispositifs de protection contre les surintensités ont un pouvoir de courant de défaut suffisant uniquement en cas de défauts du côté de la charge des dispositifs de protection contre les surintensités.

7.1.2 Documentation

Le cas échéant, la documentation doit être fournie avec chaque installation afin de permettre la construction, la mise en service, l'exploitation, la maintenance et la protection de l'environnement.

L'importance et la langue de la documentation doivent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

Les diagrammes, graphiques et tableaux, lorsqu'ils existent, doivent être préparés conformément à la CEI 60617 et à la CEI 61082-1.

7.1.3 Voies de circulation

Les voies de circulation, leur capacité de charge, la hauteur et la largeur doivent être adéquates pour permettre les mouvements des véhicules de transport prévus, et doivent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

A l'intérieur des locaux électriques fermés, le passage de véhicules ou autre matériel mobile sous ou à proximité de parties actives (sans dispositifs de protection) est autorisé sous réserve que les conditions suivantes soient satisfaites (voir Figure 5):

– le véhicule, avec ses portes ouvertes et sa charge, n'empiète pas sur la zone dangereuse: espace libre minimal de protection pour les véhicules $T = N + 100$ (minimum 500 mm);

– la hauteur minimale, H, des parties actives au-dessus des zones accessibles est maintenue (voir 7.2.4).

Dans de telles circonstances, le personnel ne peut demeurer dans les véhicules ou le matériel mobile que si des mesures de protection adéquates existent sur le véhicule ou le matériel mobile, par exemple, le toit de cabine, afin de s'assurer que nul ne peut empiéter sur la zone dangereuse définie ci-dessus.

En ce qui concerne les espaces latéraux libres minimaux entre les véhicules de transport et les parties actives, des principes analogues s'appliquent.

7.1.4 Allées et zones d'accès

La largeur des allées et des zones d'accès doit être appropriée pour les travaux, les accès pendant le fonctionnement, les accès d'urgence, l'évacuation en cas d'urgence et le transport des matériels.

NOTE Pour les zones de maintenance et d'exploitation dans les bâtiments, voir 7.5.4.

7.1.5 Eclairage

Les installations intérieures et extérieures accessibles doivent être équipées d'un éclairage approprié pour les opérations de routine.

Si nécessaire, un éclairage auxiliaire/d'urgence doit être fourni; il peut consister soit en une installation fixe soit en un matériel portatif.

Dans certains cas, dans les postes de distribution de petites dimensions, une installation d'éclairage peut ne pas être exigée. Dans un tel cas, la présence et la portée de l'éclairage doivent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

Tout élément de l'installation d'éclairage qui nécessite une maintenance ou un remplacement, par exemple, les ampoules, doit être installé de manière à ce que, lors de la réalisation adéquate de travaux, l'espace minimal de travail par rapport aux parties actives puisse être respecté.

NOTE Il convient que les niveaux d'éclairage soient conformes aux réglementations et aux normes nationales et/ou internationales actuelles applicables.

7.1.6 Sécurité opérationnelle

Les dispositifs de sécurité opérationnelle doivent être conçus de sorte à ce que les parcours d'évacuation et de sauvetage et l'issue de secours puissent être utilisés de façon sûre en cas d'incendie, et de sorte à ce que la protection et la compatibilité de l'environnement soient assurées.

En cas de nécessité, les installations elles-mêmes doivent être protégées contre les risques d'incendie, d'inondation et de contamination. Des mesures complémentaires doivent être adoptées afin de protéger les installations importantes contre les effets de la circulation routière (projections de sel, accident automobile) si cela est exigé.

7.1.7 Etiquetage

Pour éviter toute erreur d'exploitation et les accidents, il est indispensable de procéder à l'identification et à l'étiquetage (des éléments).

Toutes les parties importantes de l'installation, par exemple, les systèmes de jeux de barres, l'appareillage, les travées et les conducteurs, doivent être étiquetées de façon claire, lisible et durable.

Des consignes de sécurité, par exemple, avis avec avertissement, notices de consignes de sécurité et notes d'information, doivent être prévues dans les emplacements appropriés de l'installation (voir 8.9).

NOTE 1 Il convient de tenir compte des réglementations locales et nationales.

NOTE 2 Il convient de prévoir des notes d'information pour le fonctionnement des dispositifs d'interverrouillage principaux.

NOTE 3 Des consignes de sécurité peuvent être prévues lorsque plusieurs sources de puissance haute tension doivent être déconnectées pour la mise hors tension complète des matériels ou lorsque ces derniers peuvent être réalimentés de manière intempestive.

7.2 Installations extérieures de conception libre

La disposition des installations extérieures de type libre doit tenir compte des espaces libres minimaux entre phases et entre phase et terre indiqués à l'Article 5.

La conception de l'installation doit être telle que l'accès aux zones dangereuses soit restreint en tenant compte de la nécessité d'un accès pour l'exploitation et la maintenance. En conséquence, des clôtures extérieures doivent être prévues et, lorsque les distances de sécurité ne peuvent être maintenues, des dispositifs de protection permanents doivent être installés. Pour les installations électriques sur mât, pylône et tour, les clôtures extérieures peuvent ne pas être exigées si l'installation est inaccessible depuis le sol au public et satisfait aux distances de sécurité données en 7.7.

Une séparation doit être établie entre les travées ou les sections en prévoyant des distances, des barrières de protection ou des obstacles de protection appropriés.

7.2.1 Espaces libres des barrières de protection

A l'intérieur d'une installation, les espaces libres minimaux de protection suivants doivent être maintenus entre les éléments sous tension et la surface interne de toute barrière de protection (voir Figure 1):

– pour les murs pleins sans ouverture d'une hauteur minimale de 1 800 mm, l'espace libre minimal de la barrière de protection est de $B_1 = N$;

– pour les treillis métalliques, écrans ou murs pleins avec ouvertures, d'une hauteur minimale de 1 800 mm et un degré de protection IPXXB (voir la CEI 60529), l'espace libre minimal de la barrière de protection est de $B_2 = N$ + 80 mm.

NOTE Le degré IPXXB assure une protection contre l'accès aux pièces dangereuses avec les doigts.

Pour les barrières de protection non rigides et les treillis métalliques, les valeurs de l'espace libre minimal doivent être augmentées afin de tenir compte de tout déplacement éventuel de la barrière ou du treillis de protection.

7.2.2 Espaces libres des obstacles de protection

A l'intérieur des installations, l'espace libre minimal suivant doit être maintenu entre les parties actives et la surface interne de tout obstacle de protection (voir Figure 1):

– pour les murs pleins ou les écrans de moins de 1 800 mm de hauteur et pour les rails, chaînes ou cordes, l'espace libre minimal de l'obstacle de protection est de $O_2 = N$ + 300 mm (minimum 600 mm);

– pour les chaînes ou les cordes, les valeurs doivent être augmentées afin de tenir compte du fléchissement.

Le cas échéant, les obstacles de protection doivent être installés à une hauteur minimale de 1 200 mm et une hauteur maximale de 1 400 mm.

NOTE Dans certains pays, les rails, chaînes et cordes ne sont pas acceptables.

7.2.3 Espaces libres de séparation

La clôture externe des installations extérieures de conception libre doit présenter les espaces libres minimaux de séparation suivants conformément à la Figure 2:

– murs pleins (hauteur, voir 7.2.6) : $C = N$ + 1 000 mm;

– treillis métallique/écrans (hauteur, voir 7.2.6) : $E = N$ + 1 500 mm.

7.2.4 Hauteur minimale au-dessus de la zone d'accès

La hauteur minimale des parties actives au-dessus des surfaces ou des plates-formes où seul l'accès des piétons est autorisé doit être la suivante:

– pour les parties actives sans dispositifs de protection, une hauteur minimale de $H = N$ + 2 250 mm (minimum 2 500 mm) doit être maintenue (voir Figure 3). La hauteur H fait référence au fléchissement maximal du conducteur (voir l'Article 4);

– la partie la plus basse de tout isolement, par exemple, le bord supérieur des bases d'isolateurs métalliques, ne doit pas se trouver à moins de 2 250 mm au-dessus des surfaces accessibles à moins que d'autres mesures appropriées pour en empêcher l'accès ne soient prévues.

Lorsque la réduction des distances de sécurité due à l'effet de la neige sur les surfaces accessibles doit être prise en considération, les valeurs indiquées ci-dessus doivent être augmentées.

7.2.5 Distances des bâtiments

Lorsque des conducteurs nus traversent des bâtiments qui sont situés à l'intérieur de locaux électriques fermés, les espaces libres minimaux suivants par rapport au toit doivent être maintenus pour un fléchissement maximal (voir Figure 4):

– les espaces libres minimaux spécifiés en 7.2.4 pour les parties actives au-dessus de surfaces accessibles, dans le cas où le toit est accessible lorsque les conducteurs sont sous tension;

– N + 500 mm lorsqu'il n'est pas possible d'avoir accès au toit lorsque les conducteurs sont sous tension;

– O_2 en direction latérale à partir de l'extrémité du toit s'il est possible d'avoir accès à ce dernier lorsque les conducteurs sont sous tension.

Lorsque des conducteurs nus s'approchent de bâtiments qui sont situés à l'intérieur de locaux électriques fermés, les espaces libres minimaux suivants doivent être maintenus permettant ainsi un fléchissement/une oscillation maximale dans le cas de conducteurs câbles:

– mur extérieur avec fenêtres non grillagées: espace libre minimal donné par D_V;

– mur extérieur avec fenêtres grillagées (grillages conformément à 7.2.1): espaces libres minimaux des barrières de protection B_2 conformément à 7.2.1;

– mur extérieur sans fenêtres: N.

7.2.6 Clôtures ou murs extérieurs et portes d'accès

Tout accès non autorisé aux installations extérieures doit être empêché. Lorsque cette interdiction s'effectue au moyen de clôtures ou murs extérieurs, la hauteur et la construction de la clôture/du mur doivent être appropriées afin d'en décourager l'ascension.

Des mesures de prévention supplémentaires peuvent être exigées dans certaines installations afin d'empêcher l'accès par excavation au-dessous de la clôture.

La clôture/le mur extérieurs doivent avoir une hauteur d'au moins 1 800 mm. Le bord inférieur d'une clôture ne doit pas se trouver à plus de 50 mm du sol (pour les espaces libres minimaux, voir la Figure 2).

Les portes d'accès aux installations extérieures doivent être équipées de verrous de sûreté.

Les clôtures/murs extérieurs et les portes d'accès doivent être marqués au moyen de panneaux de sécurité conformément à 8.8.

Dans certains cas, pour des raisons de sécurité du public, des mesures supplémentaires peuvent se révéler nécessaires.

Le degré de protection IP1X (CEI 60529) doit être appliqué.

NOTE L'utilisation de clôtures métalliques grillagées avec une taille de maille de 50 mm × 200 mm (largeur × hauteur) est applicable si la conception de la clôture empêche l'entrée de personnes non autorisées.

7.3 Installations ouvertes en bâtiment

La disposition des installations ouvertes en bâtiment doit tenir compte des espaces libres minimaux entre phases et entre phase et terre spécifiés dans l'Article 5.

La conception de l'installation doit être telle qu'elle empêche l'accès aux zones dangereuses en tenant compte de la nécessité d'un accès pour l'exploitation et la maintenance. En conséquence, des distances de sécurité ou des dispositifs de protection permanents à l'intérieur de l'installation doivent être prévus.

En ce qui concerne les espaces libres des barrières de protection, les distances de sécurité et la hauteur minimale, voir 7.2.

En ce qui concerne les bâtiments, couloirs, voies d'évacuation, portes et fenêtres, voir 7.5.

En ce qui concerne les murs pleins ou les écrans de moins de 1 800 mm de haut et les rails, chaînes ou cordes, les espaces libres minimaux des obstacles de protection sont au moins de

$$O_1 = N + 200 \text{ mm (minimum 500 mm, voir la Figure 1)}$$

Pour les chaînes ou les cordes, les valeurs doivent être augmentées afin de tenir compte de leur fléchissement. Le cas échéant, elles doivent être installées à une hauteur minimale de 1 200 mm à 1 400 mm au maximum.

7.4 Installation de l'appareillage préfabriqué soumis à essai de type

7.4.1 Généralités

Le présent paragraphe stipule les exigences supplémentaires des matériels qui s'appliquent aux connexions extérieures, à la construction et à l'exploitation sur le lieu de l'installation. L'installation doit être dimensionnée et conçue afin d'éviter tout danger pour les personnes et tout dommage aux biens, en tenant compte du type d'installation et des conditions locales.

L'appareillage à haute tension soumis à essai de type et fabriqué en usine doit être fabriqué et soumis à l'essai conformément aux normes CEI applicables, telles que la CEI 62271-1:2007, la CEI 62271-200, la CEI 62271-201 et la CEI 62271-203.

NOTE Dans certains pays, l'appareillage conforme à la CEI 62271-201 peut être considéré comme une installation intérieure de type libre.

L'appareillage doit être bien adapté à ses objectifs, clairement agencé et conçu de telle manière que les éléments essentiels soient accessibles en vue de la construction, l'exploitation et la maintenance. Des arrangements et des accès doivent être prévus afin de permettre le montage sur site. Il convient de prendre en considération les agrandissements éventuels futurs.

Des arrangements appropriés doivent être prévus pour les connexions extérieures. Les conducteurs et les câbles doivent être choisis et agencés de façon à assurer un niveau d'isolement de sécurité entre les conducteurs et entre chaque conducteur et les structures métalliques de mise à la terre avoisinantes.

Des dispositifs de sécurité qui ont pour but de réduire la pression interne de l'appareillage qui résulte d'un défaut, doivent être conçus et agencés en tenant compte du danger potentiel qu'ils représentent pour le personnel. On doit empêcher l'accumulation de concentrations dangereuses de produits de la décomposition des gaz dans les salles d'appareillage.

7.4.2 Exigences supplémentaires relatives aux appareillages à gaines métalliques à isolement au gaz (GIS)

7.4.2.1 Conception

Si des plates-formes et des échelles sont nécessaires à des fins d'exploitation et de maintenance, elles doivent être conçues et agencées de façon à assurer un accès du personnel en toute sécurité. Ces éléments peuvent être fixes ou amovibles.

Si nécessaire, des arrangements doivent être prévus pour protéger l'appareillage contre les vibrations dangereuses provenant des transformateurs/réactances avec connexions à isolement au gaz. En cas de nécessité, des soufflets doivent être mis en place pour permettre la dilatation due à la chaleur, les tolérances de construction et les mouvements des fondations.

En ce qui concerne les installations à isolement au gaz avec plusieurs chambres de pression, des étiquettes claires doivent être apposées avec indication de la construction de l'installation et de la position des cloisonnements. Les dispositifs de surveillance continue doivent être clairement marqués et situés de façon à permettre un contrôle facile.

Les canalisations et raccords de gaz dans des zones où l'on prévoit des dommages mécaniques doivent être protégés.

Lorsqu'il existe une possibilité de les confondre avec d'autres canalisations, les canalisations de gaz SF_6 doivent être marquées.

7.4.2.2 Montage sur site

Le montage de l'appareillage à isolement au gaz (GIS) doit être réalisé dans un environnement propre.

En ce qui concerne les installations extérieures, il peut se révéler nécessaire de prévoir une enceinte temporaire appropriée au-dessus de la zone de travaux afin de protéger les matériels des conditions environnementales pendant que l'installation et/ou la maintenance sont en cours.

En ce qui concerne la manipulation du gaz SF_6, voir 9.4.

Pour les fuites de gaz SF_6, voir 8.8.2 et 8.8.3.

7.4.2.3 Protection contre les surtensions

Il convient normalement de prévoir une protection du GIS contre les surtensions par les parafoudres installés sur les lignes d'alimentation. Dans certains cas, la protection qu'offrent ces matériels peut se révéler inadéquate. Cette situation découle principalement des configurations suivantes:

– longue distance entre le GIS et les transformateurs;
– transformateurs raccordés au GIS au moyen de câbles;
– jeux de barres longs, ouverts à leurs extrémités;
– connexion aux lignes aériennes au moyen de câbles isolés;
– emplacements avec forte probabilité de coups de foudre.

Pour ces configurations, l'installation de parafoudres supplémentaires peut se révéler nécessaire. Il convient que leur emplacement soit fondé sur l'expérience dans des situations analogues ou sur des calculs.

7.4.2.4 Mise à la terre

Il convient que l'enceinte d'un GIS soit raccordée à une installation de mise à la terre au moins aux points suivants:

a) à l'intérieur des travées:
   – à proximité du disjoncteur;
   – à proximité de l'embout obturateur du câble;
   – à proximité du manchon à air/gaz SF_6;
   – à proximité du transformateur de mesure.
b) sur les jeux de barres:
   – aux deux extrémités et aux points intermédiaires selon la longueur des jeux de barres.

Les trois enceintes d'un GIS de type monophasé doivent être liées ensemble avec des connections courtes et mises à la terre au moins à la fin de l'enceinte des lignes d'alimentation sortantes et entrantes. Le conducteur de liaison doit avoir une valeur assignée permettant de transporter le courant nominal des travées et des jeux de barres, ou, si on utilise un conducteur de liaison dont la valeur assignée est inférieure, il doit alors être démontré par des essais qu'aucun danger ne se produira en cours d'exploitation.

Des bandes de liaison supplémentaires ne sont pas nécessaires aux joints par bride s'il est possible d'assurer que la pression de contact de la bride fournit une connexion électrique adéquate pour des fréquences élevées.

Les conducteurs de mise à la terre des parafoudres destinés à la protection des installations à isolement au gaz doivent être raccordés à l'enceinte par une connexion aussi courte que possible.

Il convient que les gaines métalliques (par exemple, enceintes métalliques, couvercles blindés, grillages) de câbles avec tensions nominales de plus de 1 kV soient connectées directement à l'enceinte du GIS.

Dans certains cas spéciaux, par exemple, protection cathodique des câbles, il peut se révéler nécessaire de séparer la connexion à la terre des câbles par rapport à l'enceinte du GIS. Dans ce cas, il est recommandé d'installer un dispositif de protection contre les surtensions entre l'embout obturateur et l'enceinte.

7.5 Exigences relatives aux bâtiments

7.5.1 Introduction

Les bâtiments doivent respecter les codes de construction et réglementations relatives aux incendies au niveau national. En l'absence de telles normes nationales, il est possible d'utiliser ce qui suit comme guide.

Le présent paragraphe stipule les exigences qui doivent être respectées dans les zones ou emplacements où sont installés des matériels électriques destinés à des installations à haute tension. Pour les besoins de la présente norme, les postes préfabriqués couverts par la CEI 62271-202 ne sont pas considérés comme des bâtiments.

7.5.2 Dispositions structurelles

7.5.2.1 Généralités

Les structures portantes de charges, les cloisons de séparation, les revêtements, les enceintes, etc. doivent être choisis de façon à ce qu'ils puissent supporter la charge combustible prévue.

Les zones d'exploitation électriques doivent être conçues de façon à empêcher la pénétration d'eau et à réduire la condensation au minimum.

Les matériaux utilisés pour les murs, plafonds et planchers doivent, dans toute la mesure du possible, ne pas être endommagés par la pénétration ou les fuites d'eau. Si cette exigence ne peut être satisfaite, des mesures de prévention doivent être prises afin d'éviter les conséquences d'une fuite ou de la condensation qui affectent la sécurité opérationnelle.

La conception des bâtiments doit tenir compte de la charge mécanique et de la pression interne prévues produites par un défaut avec arc.

Les canalisations et autres matériels, s'ils sont autorisés dans les postes, doivent être conçus de manière à ce que l'installation électrique ne s'en trouve pas affectée, même en cas de dommage.

7.5.2.2 Spécifications relatives aux murs

Les murs extérieurs du bâtiment doivent avoir une résistance mécanique suffisante pour les conditions environnementales.

La résistance mécanique des bâtiments doit être suffisante pour résister à toutes les charges statiques et dynamiques dues à l'exploitation normale de l'installation.

Le passage des canalisations ou des systèmes de câblage ne doit pas affecter l'intégrité structurale des murs.

Les parties métalliques qui passent à travers les murs doivent satisfaire aux exigences de l'Article 10.

Les panneaux de la surface extérieure des bâtiments qui sont accessibles au public ne doivent pas pouvoir être démontés de l'extérieur. Les matériaux qui constituent les enceintes extérieures doivent être en mesure de supporter les attaques des éléments atmosphériques (pluie, soleil, agressivité du vent, etc.).

7.5.2.3 Fenêtres

Les fenêtres doivent être conçues de manière à en rendre la pénétration difficile. Cette exigence est considérée comme satisfaite si une ou plusieurs des mesures suivantes sont appliquées:

– la fenêtre est construite en matériau incassable;
– la fenêtre est grillagée;
– le bord inférieur de la fenêtre se situe au moins à 1,8 m au-dessus du niveau d'accès;
– le bâtiment est entouré d'une clôture extérieure d'au moins 1,8 m de haut.

7.5.2.4 Toits

Le toit du bâtiment doit avoir une résistance mécanique suffisante pour supporter les conditions environnementales.

Si le plafond de la salle de l'appareillage est également le toit du bâtiment, l'ancrage du toit sur les murs doit être approprié en matière d'évacuation de la pression.

7.5.2.5 Planchers

Les planchers doivent être plats et stables et être en mesure de supporter les charges statiques et dynamiques.

7.5.3 Salles des appareillages

Les dimensions de la salle et des ouvertures d'évacuation de pression nécessaires dépendent du type d'appareillage et du courant de court-circuit.

Si des ouvertures d'évacuation de pression sont nécessaires, elles doivent être aménagées et situées de telle sorte que lorsqu'elles fonctionnent (soufflage dû à un défaut d'arc), le danger pour les personnes et tout dommage aux biens soient minimisés.

7.5.4 Zones de maintenance et d'exploitation

Les zones de maintenance et d'exploitation comprennent les allées, zones d'accès, passages destinés à la manutention et voies d'évacuation.

Les allées et les zones d'accès doivent avoir des dimensions appropriées pour permettre l'exécution des travaux, le fonctionnement de l'appareillage et le transport des matériels.

Les allées doivent avoir une largeur d'au moins 800 mm.

La largeur des allées ne doit pas être réduite même lorsque les matériels y font saillie, par exemple, mécanismes de fonctionnement installés de façon permanente ou chariots d'appareillage en position isolée.

L'espace d'évacuation doit toujours avoir une dimension minimale de 500 mm, même lorsque des parties amovibles ou des portes ouvertes, bloquées dans la direction de l'évacuation, empiètent sur les voies d'évacuation.

En ce qui concerne les passages d'accès de montage ou de service derrière les installations fermées (murs pleins), une largeur minimale de 500 mm est exigée.

Le personnel doit avoir à tout moment un accès libre et en toute sécurité.

NOTE Il convient que les portes des compartiments ou des travées de l'appareillage se ferment dans la direction d'évacuation.

Une hauteur minimale de 2 000 mm est exigée sous les plafonds, couvertures ou enceintes, sauf en ce qui concerne les accès de câbles.

Des issues doivent être aménagées de façon à ce que la longueur de la voie d'évacuation à l'intérieur de la salle ne dépasse pas 40 m pour l'installation de tensions assignées U_{m} de plus de 52 kV, et 20 m pour l'installation de tensions assignées allant jusqu'à U_{m} = 52 kV. Cela ne s'applique pas aux conduits accessibles des barres ou aux conduits de câbles. Si les distances ci-dessus des voies d'évacuation ne peuvent être réalisées, un accord avec l'utilisateur doit être obtenu.

Les échelles ou dispositifs analogues installés en permanence sont autorisés comme issues de secours sur les voies d'évacuation.

7.5.5 Portes

Les portes d'accès doivent être équipées de verrous de sécurité pour éviter tout accès non autorisé.

Les portes d'accès doivent s'ouvrir vers l'extérieur et être munies de panneaux de sécurité conformément à 8.9.

Les portes qui s'ouvrent sur l'extérieur doivent être en matériau de faible inflammabilité, sauf lorsque le bâtiment est entouré par une clôture extérieure d'au moins 1,8 m de hauteur.

Il n'est pas exigé que les portes entre les diverses salles d'un local électrique fermé soient équipées de verrous.

Il doit être possible d'ouvrir les portes de secours depuis l'intérieur sans l'aide d'une clé, en utilisant un loquet ou un autre moyen simple, même lorsqu'elles sont verrouillées depuis l'extérieur. Il n'est pas nécessaire de satisfaire à cette exigence pour les petites installations où la porte doit rester ouverte pendant l'exploitation ou l'entretien.

La hauteur minimale d'une porte de secours doit être de 2 m et l'ouverture totale minimale de 750 mm.

7.5.6 Evacuation des liquides isolants

Des mesures de protection doivent être prises lorsque des liquides isolants sont utilisés (voir également 8.8).

7.5.7 Climatisation et ventilation

On doit établir des conditions climatiques intérieures adéquates, par exemple, au moyen d'un refroidissement, d'un chauffage, d'une déshumidification, d'une ventilation appropriés, ou par la conception appropriée du bâtiment.

En ce qui concerne les salles de transformateurs, il est préférable d'employer une ventilation naturelle.

Les systèmes de ventilation forcée (permanents ou mobiles) doivent être conçus afin de tenir compte de l'évacuation des fumées du bâtiment.

Il est recommandé d'assurer la surveillance continue du fonctionnement d'un ventilateur permanent.

Les ouvertures de ventilation doivent être conçues de façon à empêcher tout voisinage dangereux auprès des parties actives et toute pénétration dangereuse de corps étrangers.

Les fluides de refroidissement et agents caloporteurs ne doivent pas contenir d'impuretés mécaniques ou de substances chimiques agressives en quantités ou qualités qui peuvent être dangereuses pour le bon fonctionnement des matériels de l'installation.

Des filtres ou des échangeurs de chaleur doivent être prévus, si nécessaire.

Les systèmes de ventilation mécanique doivent être agencés et placés de manière à pouvoir en effectuer l'inspection et la maintenance même lorsque l'appareillage fonctionne.

7.5.7.1 Ventilation des locaux batteries

Les locaux contenant des batteries doivent prendre en compte les exigences de ventilation, si nécessaire, selon les types de batteries, afin d'empêcher l'accumulation de gaz combustibles explosifs lors de la charge des batteries.

7.5.7.2 Locaux pour générateurs de secours

Il convient de considérer l'installation de générateurs de secours dans des locaux séparés.

Une ventilation doit être prévue. Des fosses doivent être prévues pour recevoir et contrôler les pertes de combustible ou d'huile lubrifiante.

Les systèmes d'échappement des moteurs doivent être installés et disposés de manière que les fumées ne soient pas aspirées par la prise d'air de ventilation des salles d'appareillage et de commande, ou par la prise d'air du générateur de secours.

7.5.8 Bâtiments qui exigent un examen particulier

En ce qui concerne les installations à haute tension situées dans des bâtiments publics ou résidentiels, des conditions particulières doivent être remplies conformément aux normes ou réglementations nationales en vigueur.

7.6 Postes préfabriqués à haute tension/basse tension

En ce qui concerne les règlements relatifs à la construction et aux essais, voir la CEI 62271-202.

Les postes compacts doivent être situés de façon à ce que la circulation routière ne soit pas susceptible de les endommager. Un espace adéquat aux fins d'exploitation et de maintenance doit également être prévu.

7.7 Installations électriques sur mât, pylône et tour

La hauteur minimale H' des parties actives au-dessus des surfaces accessibles au public doit être de

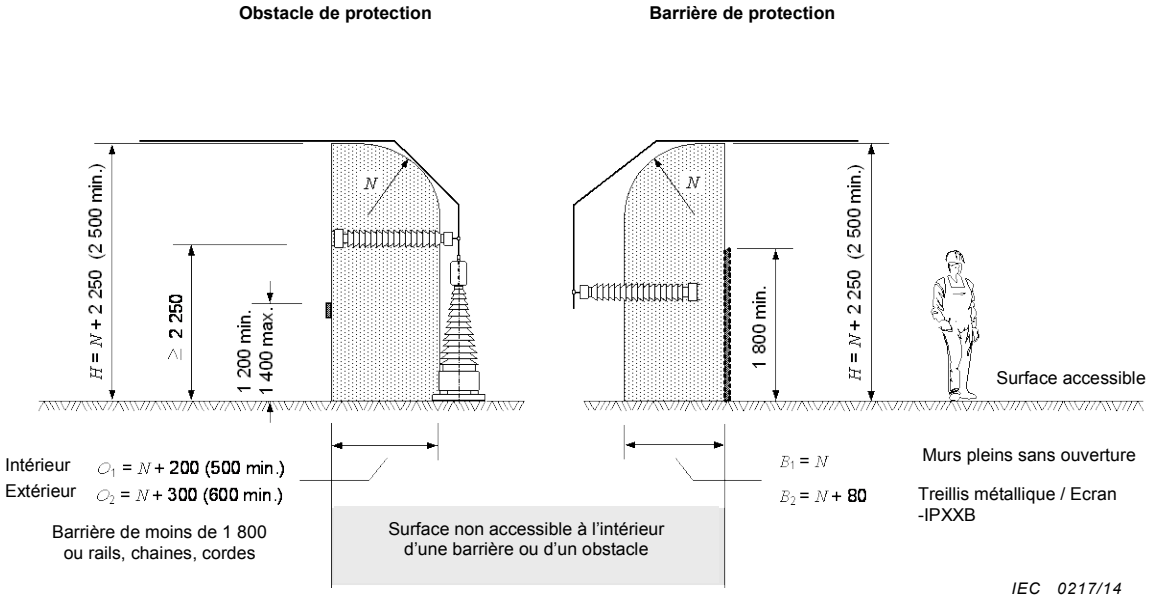
- H' = 4 300 mm pour les tensions assignées U_m jusqu'à 52 kV;
- H' = N + 4 500 mm (minimum 6 000 mm) pour des tensions assignées U_m au-dessus de 52 kV;

où N est l'espace libre minimal.

Lorsque la réduction des distances de sécurité due à l'effet de la neige sur les surfaces accessibles doit être prise en considération, les valeurs indiquées ci-dessus doivent être augmentées.

Les dispositifs d'isolement et les fusibles doivent être agencés de sorte à ce qu'ils puissent fonctionner sans danger. Les dispositifs d'isolement accessibles au public doivent pouvoir être verrouillés. Les barres opérationnelles doivent être conformes à la norme applicable.

Une mise à la terre et en court-circuit sûre des phases de la ligne aérienne doit être possible.



Dimensions en millimètres

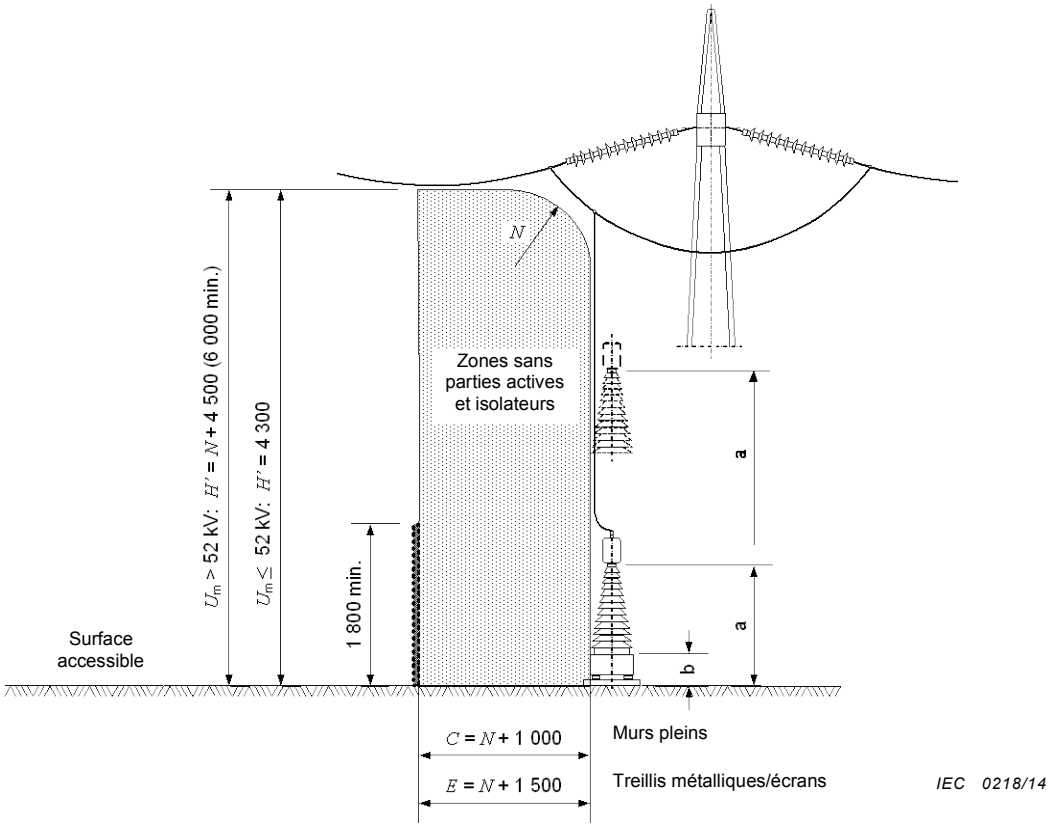
Légende

N Espace libre minimal

O Espace libre de l'obstacle

B Espace libre de la barrière

Figure 1 – Protection contre les contacts directs au moyen de barrières/obstacles de protection à l'intérieur de locaux électriques fermés



Dimensions en millimètres

Légende

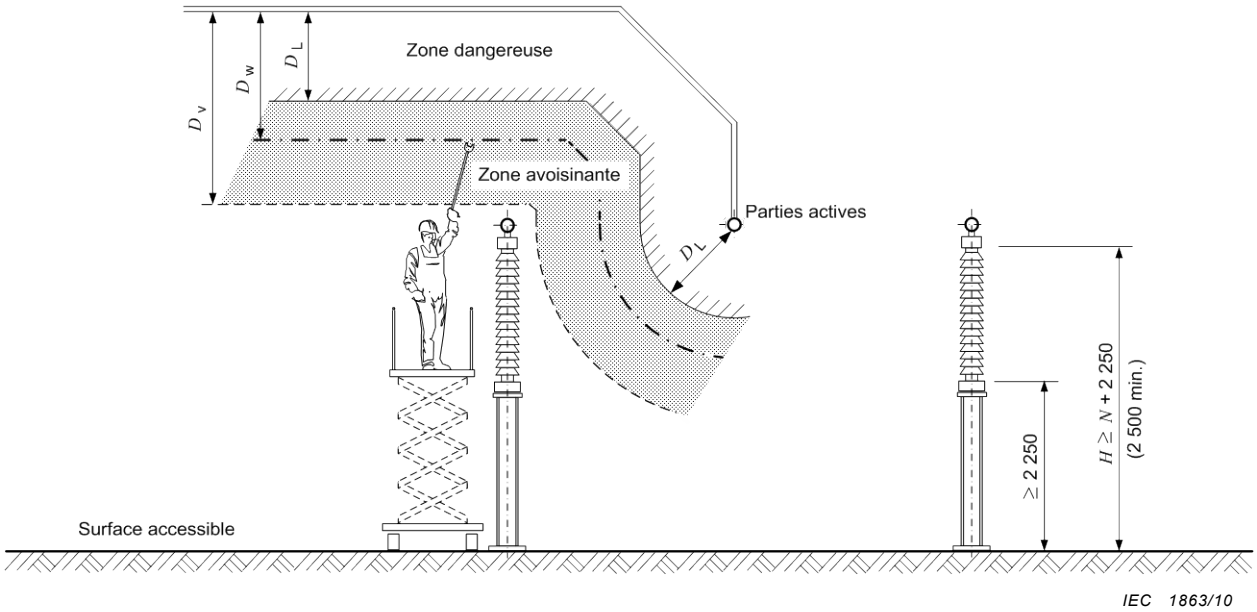
N Espace libre minimal

H' Espace libre minimal des parties actives au-dessus de la surface accessible de la clôture extérieure

a Si la distance aux parties actives est inférieure à H, une protection par barrières ou obstacles doit être prévue

b Si cette distance est inférieure à 2 250 mm, une protection par barrières ou obstacles doit être prévue

Figure 2 – Distances des limites et hauteur minimale à la clôture/mur extérieurs



Dimensions en millimètres

Légende

D_L N

D_V N + 1 000 pour $U_n \leq 110$ kV

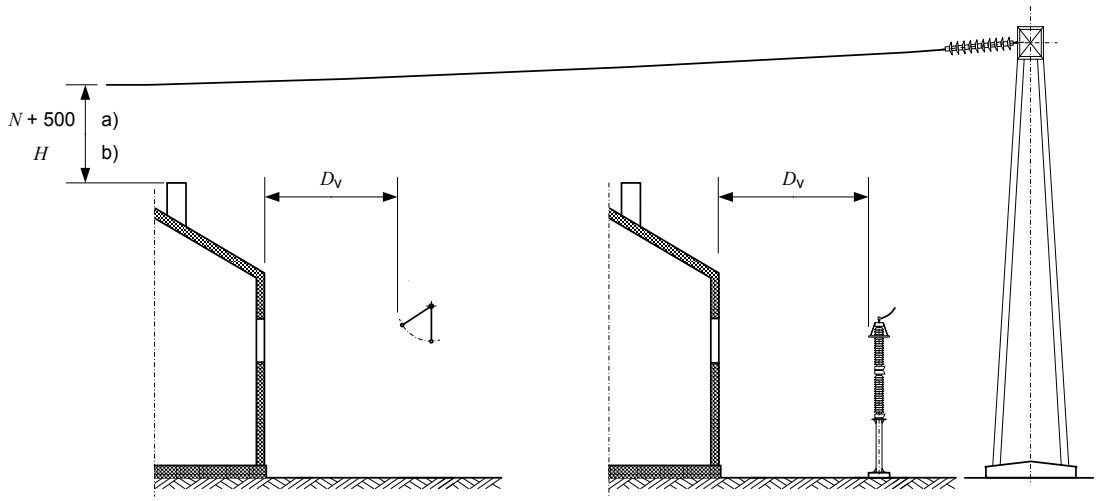
D_V N + 2 000 pour $U_n > 110$ kV

D_W Distance de travail conformément aux normes ou règlements nationaux

N Espace libre minimal

H Hauteur minimale

Figure 3 – Hauteurs et distances de travail minimales à l'intérieur de locaux électriques fermés



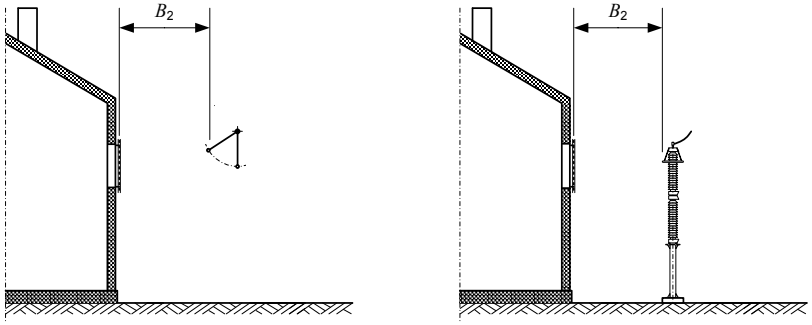
N Espace libre mininal H Hauteur mininale

a) Le toit n'est pas accessible lorsque les conducteurs sont sous tension
b) Le toit est accessible lorsque les conducteurs sont sous tension

$D_V = N + 1\,000$ pour $U_n \leq 110$ kV
$D_V = N + 2\,000$ pour $U_n > 110$ kV

IEC 1864/10

Figure 4a – Mur extérieur avec fenêtres non grillagées

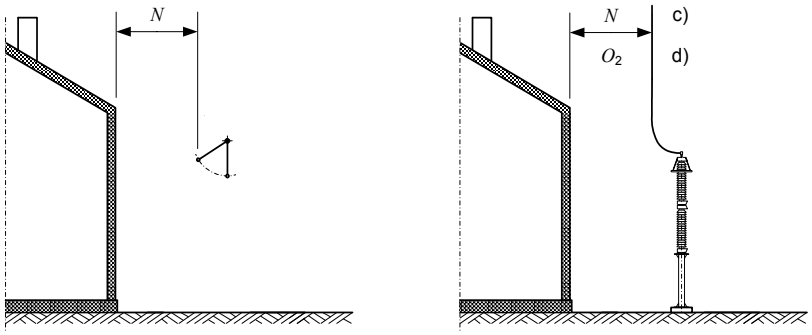


$B_2 \geq N + 100$

N Espace libre mininal

IEC 1865/10

Figure 4b – Mur extérieur avec fenêtres grillagées



N Espace libre minimal

c) N Si le toit n'est pas accessible lorsque les conducteurs sont sous tension
d) $O_2 \geq N + 300$ (600 min.) Si le toit est accessible lorsque les conducteurs sont sous tension

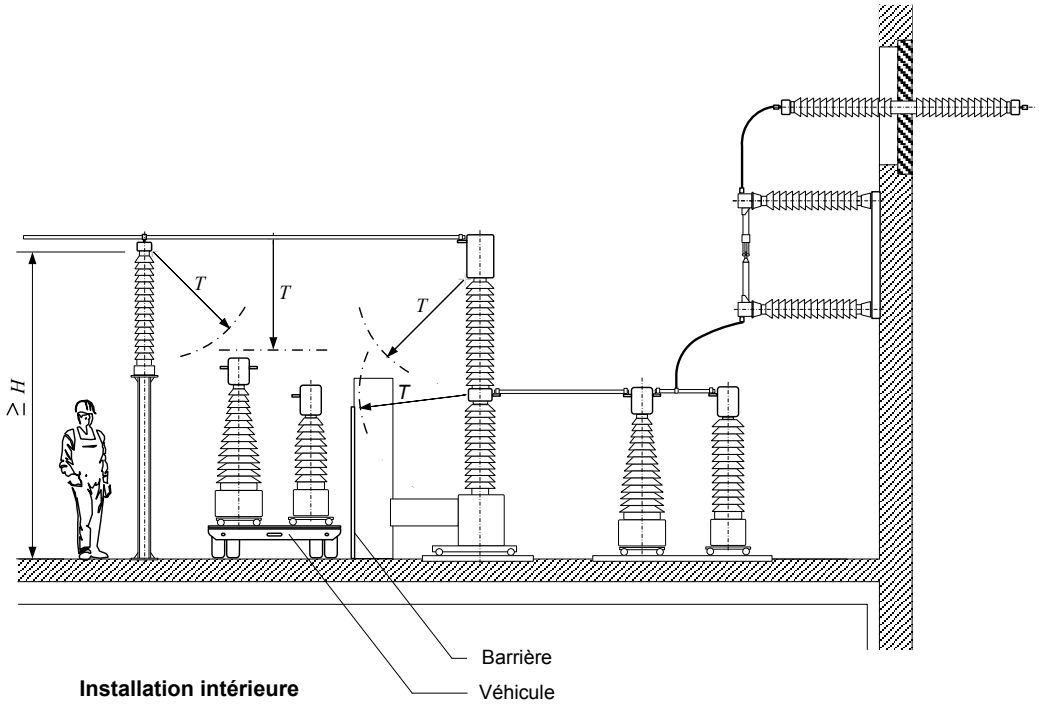
IEC 1866/10

Figure 4c – Mur extérieur sans fenêtre

Dimensions en millimètres

NOTE Lorsque des travaux sont réalisés sur le toit et les conducteurs sont actifs, il convient que les espaces libres de la Figure 3 soit appliquer.

Figure 4 – Approches avec bâtiments (à l'intérieur de locaux électriques fermés)

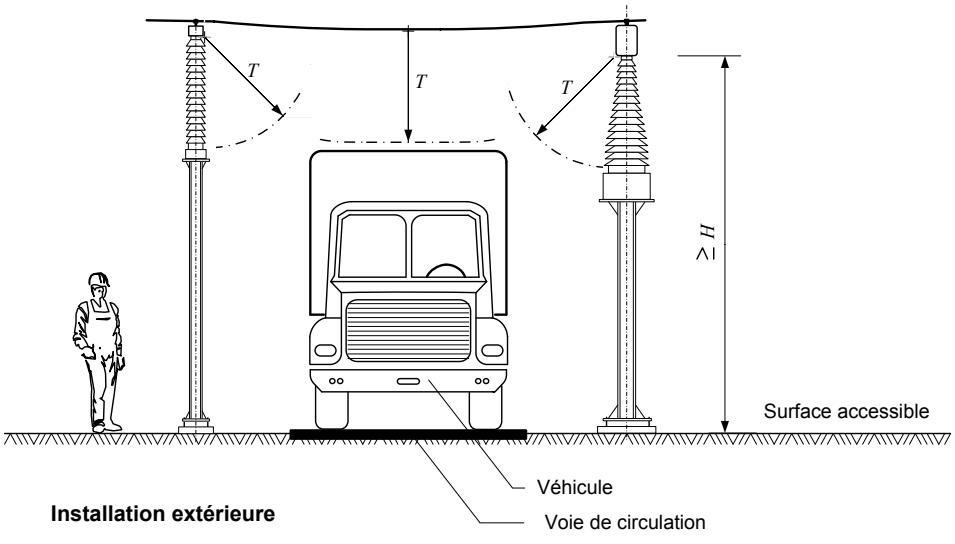


Installation intérieure

$T = N + 100$ (500 min.)

N = Espace libre minimal

IEC 1867/10



Installation extérieure

IEC 1868/10

Dimensions en millimètres

Figure 5 – Distance minimale d'approche pour le transport

8 Mesures de sécurité

8.1 Généralités

Les installations doivent être réalisées de façon à permettre au personnel d'exploitation et de maintenance de circuler et d'intervenir dans le cadre de ses tâches et de ses autorisations, suivant les circonstances, en tout point de l'installation.

Les travaux particuliers de maintenance, de préparation et de réparation impliquant de travailler au voisinage ou sur des parties actives, sont régis par les règles, procédures et distances de travail définies dans les normes et règlements nationaux.

8.2 Protection contre les contacts directs

Les installations doivent être réalisées de façon à éviter tout contact accidentel avec les parties actives ou une pénétration fortuite dans une zone dangereuse à proximité des parties actives.

Une protection doit être prévue pour les parties actives, celles ne possédant qu'une isolation fonctionnelle et celles pouvant propager un potentiel dangereux.

Des exemples de telles parties sont les suivants:

– parties actives accessibles;
– parties d'installations dans lesquelles les gaines métalliques reliées à la terre ou les écrans conducteurs des câbles ont été retirés;
– câbles et accessoires sans gaine métallique mise à la terre ou sans écran conducteur élastomère relié à la terre, ainsi que les câbles souples sans écran conducteur élastomère;
– extrémités et gaines conductrices de câbles, si elles peuvent propager une tension dangereuse;
– corps isolants d'isolateurs et autres parties semblables, par exemple, matériel électrique isolé par de la résine moulée, si une tension de contact dangereuse peut apparaître;
– châssis ou boîtiers de condensateurs, convertisseurs et transformateurs convertisseurs qui peuvent présenter une tension dangereuse en fonctionnement normal;
– enroulements de machines électriques, de transformateurs et de réactances à noyau d'air.

La protection peut être obtenue par différents moyens, selon que l'installation est placée ou non dans un local électrique fermé.

La CEI 61140 contient des informations sur la protection contre les chocs électriques.

8.2.1 Mesures de protection contre les contacts directs

8.2.1.1 Mesures de protection reconnues

Les types de protection suivants sont reconnus:

– protection par enveloppe;
– protection par barrière;
– protection par obstacle;
– protection par mise hors de portée.

8.2.1.2 Conception des mesures de protection

Les barrières de protection peuvent être des murs pleins, des portes ou des écrans (treillis métallique) d'une hauteur minimale de 1 800 mm afin qu'aucune partie du corps humain ne puisse atteindre la zone dangereuse à proximité des parties actives.

Les obstacles de protection peuvent être, par exemple, des capots, des rails, des chaînes et des câbles aussi bien que des murs, des portes et des écrans de moins de 1 800 mm de hauteur et ne peuvent de ce fait être considérés comme des barrières de protection.

La protection par mise hors de portée est obtenue en plaçant les parties actives hors d'une zone s'étendant à partir de toute surface où des personnes peuvent se tenir ou se déplacer habituellement, jusqu'aux limites qu'une personne peut atteindre en étendant le bras dans toutes les directions (voir l'Article 7).

Les dispositifs de protection utilisés comme mesure de protection contre les contacts directs, tels que les murs, capots, obstacles de protection, etc., doivent être mécaniquement robustes et solidement fixés.

Les portes des locaux contenant l'appareillage ou celles des travées utilisées comme partie d'une enveloppe doivent être conçues de telle sorte qu'elles ne puissent être ouvertes qu'à l'aide d'un outil ou d'une clé. Dans les zones extérieures aux locaux électriques fermés, ces portes doivent être munies de verrous de sécurité.

Les dispositifs de protection démontables et conducteurs doivent être fixés de façon telle que, s'ils sont correctement utilisés, l'espace libre minimal approprié soit maintenu (barrière ou obstacle de protection). Dans les autres cas, ils doivent être constitués de matériaux isolants ou de bois sec. Il est permis qu'un rail puisse être démonté sans l'aide d'un outil. Les rails de protection doivent être rigides.

Dans les zones ou locaux accessibles au public, les dispositifs de protection ne doivent pas pouvoir être enlevés facilement depuis l'extérieur avec des outils courants.

8.2.2 Exigences de protection

8.2.2.1 Protection à l'extérieur des locaux électriques fermés

A l'extérieur des locaux électriques fermés, seule la protection par enveloppe ou par mise hors de portée est admise.

Lorsque la protection par enveloppe est utilisée, le degré de protection minimal doit être IP2XC.

NOTE A titre d'exception peuvent être admis des orifices de ventilation tels qu'une tige métallique rectiligne ne puisse provoquer un danger en pénétrant dans le matériel et en s'approchant des parties devant être protégées contre les contacts directs.

Lorsque la protection par mise hors de portée est utilisée, les espaces libres verticaux entre les surfaces accessibles et les parties à protéger contre les contacts directs doivent être conformes à 7.2.6 ou à la Figure 2.

8.2.2.2 Protection à l'intérieur des locaux électriques fermés

A l'intérieur des locaux électriques fermés, la protection par enveloppe, barrière, obstacle ou mise hors de portée est admise.

Lorsque la protection par enveloppe est utilisée, le degré de protection doit respecter au minimum les exigences de IP2X. Cependant, des mesures de protection spéciales contre les dangers dus à des défauts d'arc peuvent être nécessaires.

Lorsque la protection par barrière est utilisée, voir 7.2.1.

Lorsque la protection par obstacle est utilisée, voir 7.2.2 et 7.3.

Lorsque la protection par mise hors de portée est utilisée, voir 7.2.4 et 7.2.5.

NOTE Pour des exigences plus détaillées concernant les clôtures extérieures, les voies de circulation, les croisements et les accès aux bâtiments, etc., voir l'Article 7.

8.2.2.3 Protection en exploitation normale

NOTE Il convient de prendre en compte les normes applicables pour l'exploitation des installations électriques.

Les mesures de protection dans une installation doivent tenir compte de la nécessité d'y accéder pour les opérations d'exploitation, de contrôle et d'entretien telles que:

– la commande d'un disjoncteur ou d'un sectionneur;
– le changement d'un fusible ou d'une lampe;
– l'ajustement de la valeur de réglage d'un dispositif;
– le réglage d'un relais ou d'un indicateur;
– la mise à la terre pour une intervention;
– le montage d'un volet temporaire d'isolement;
– la lecture de la température ou du niveau d'huile d'un transformateur.

Dans des installations de tension $U_m \leq 52$ kV, dans lesquelles des portes ou des capots doivent être ouverts pour l'exploitation normale ou pour l'entretien, il peut être nécessaire de prévoir des rails de protection fixes non conducteurs à titre de mise en garde.

8.3 Dispositions de protection des personnes contre le contact indirect

Les mesures à prendre pour protéger les personnes contre le contact indirect sont données à l'Article 10.

La CEI 61140 contient des informations sur la protection contre les chocs électriques.

8.4 Dispositions de protection des personnes travaillant sur des installations électriques

Les installations électriques doivent être construites et installées de manière à garantir que les mesures nécessaires à la protection des personnes travaillant dans ou sur les installations électriques puissent être appliquées. Les normes appropriées pour l'exploitation et l'entretien des installations de puissance électrique doivent également être prises en compte. Les procédures de travail doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

NOTE Si des fonctions individuelles sont traitées dans des paragraphes séparés, ces fonctions peuvent être regroupées au sein d'un même matériel.

8.4.1 Matériel pour l'isolement des installations ou des appareils

Le matériel fourni doit permettre d'isoler tout ou partie de l'installation selon les exigences d'exploitation.

Cela peut être réalisé par des sectionneurs ou interrupteurs-sectionneurs (voir 6.2.1) ou en déconnectant une partie de l'installation, par exemple, en enlevant des barrettes ou des bretelles. Dans le dernier cas, voir 5.4.1

Les installations ou parties d'installations qui peuvent être alimentées à partir de plusieurs sources doivent être conçues de façon à ce que toutes les sources puissent être isolées des points d'alimentation à partir desquelles chaque section ou partie peut être sous tension.

Si les points neutres de plusieurs matériels sont connectés à un neutre commun, il doit être possible d'isoler chaque point neutre individuellement. Cela s'applique également aux bobines et résistances de mise à la terre associées. La protection contre les surtensions doit être maintenue en fonctionnement.

Lorsque des matériels peuvent être chargés sous une certaine tension après déconnexion de l'installation, par exemple, des condensateurs, des dispositifs doivent être prévus pour la décharge de ces matériels.

Les distances de séparation ne peuvent être court-circuitées par des isolateurs que si les courants de fuite entre bornes de part et d'autre sont évités.

8.4.2 Dispositifs pour empêcher le réenclenchement des dispositifs de sectionnement

Des dispositifs appropriés doivent être prévus pour rendre inopérante la force d'action (c'est-à-dire la tension d'un ressort, une pression pneumatique, l'énergie électrique) ou la commande des mécanismes de puissance permettant le fonctionnement des appareillages utilisés pour le sectionnement.

NOTE Dans certains pays, la réglementation peut exiger que ces dispositifs soient rendus inopérants par des moyens de verrouillage appropriés.

Lorsque des parties amovibles, telles que des fusibles ou des disjoncteurs à vis, sont utilisées pour une déconnexion complète et sont remplacées par des culots ou des bouchons, ces culots ou bouchons ne doivent pouvoir être enlevés qu'à l'aide d'un outil adapté.

Des interrupteurs à commande manuelle doivent permettre d'utiliser des dispositifs mécaniques de verrouillage pour éviter toute reconnexion au réseau suite à un isolement.

8.4.3 Dispositifs de vérification de l'absence de tension

Des dispositifs de vérification de l'absence de tension des matériels doivent être prévus si nécessaire, conformément aux exigences d'exploitation. L'importance de telles dispositions – lorsque la pratique le permet - doit faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

Tous les dispositifs fournis doivent permettre de vérifier l'absence de tension à tous les points où le travail doit être exécuté et qui étaient précédemment sous tension, sans danger pour les personnes exécutant le travail.

Du matériel fixe (voir la CEI 62271-206) ou des dispositifs mobiles (voir la série CEI 61243) peuvent être utilisés pour respecter ces exigences.

8.4.4 Dispositifs de mise à la terre et en court-circuit

Chaque partie d'une installation pouvant être séparée du réseau doit pouvoir être mise à la terre et en court-circuit.

Le matériel (par exemple transformateurs ou condensateurs) doit être mis en œuvre avec le matériel de mise à la terre et en court-circuit à proximité. Cette exigence ne doit pas s'appliquer aux parties d'un système où elle se révèle non réalisable ou inadéquate (par exemple, des transformateurs ou des machines électriques avec des extrémités de câble avec collerette de montage ou avec des boîtes de connexion). Dans ces cas, la mise à la terre et en court-circuit doit être effectuée par mises à la terre du circuit principal dans les armoires ou compartiments associés, côtés primaire et secondaire. Dans les conditions normales, il convient de pouvoir mettre à la terre et en court-circuit tous les côtés d'un transformateur, y compris les neutres.

Les dispositifs de mise à la terre et en court-circuit suivants doivent être prévus ou fournis, leur domaine d'application faisant l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur:

– sectionneurs de mise à la terre (soumis à l'essai et/ou à verrouillage, de préférence);
– sectionneurs de mise à la terre montés sur chariots;
– matériel de mise à la terre intégré à d'autres dispositifs de commutation, par exemple, disjoncteurs;

– piquets de mise à la terre et matériel de mise en court-circuit indépendants (voir la CEI 61230);

– piquets de mise à la terre et matériel de mise en court-circuit spécialisés (voir la CEI 61219).

Pour chaque partie d'une installation, des points de connexion de dimensions appropriées et facilement accessibles doivent être prévus sur l'installation de mise à la terre et sur les parties actives, afin de permettre le raccordement du matériel de mise à la terre et en court-circuit. Les armoires ou compartiments de l'appareillage doivent être conçus de façon à ce que le raccordement manuel du matériel de mise à la terre et en court-circuit à la borne de la prise de terre puisse être effectué conformément aux règles de travail au voisinage des parties actives.

Lorsque la mise à la terre et en court-circuit est réalisée par des sectionneurs de mise à la terre commandés à distance, la position du sectionneur doit être transmise d'une façon sûre au point de commande à distance.

Lorsque la mise à la terre est réalisée par un dispositif de coupure en charge ayant des circuits de commande, tous ces circuits doivent être mis hors service à la suite de la mise à la terre du circuit principal. Une ré-alimentation intempestive des circuits de commande doit être impossible.

8.4.5 Matériels agissant comme barrières de protection contre les parties actives voisines

Tous les éléments de cloisonnement tels que murs, planchers, etc. doivent être construits selon 7.2 ou 7.3.

En l’absence de murs ou de dispositifs de protection, la séparation entre les parties ou compartiments voisins doit respecter les distances appropriées.

S'il n'est pas possible de maintenir des distances de travail, les parties actives au voisinage de la zone de travail doivent pouvoir être recouvertes par des cloisons ou parois isolées et mobiles, de manière à prévenir tout contact accidentel avec le corps des personnes, les outils, les matériels et les matériaux.

8.4.5.1 Cloisons isolées et mobiles

Les écrans mobiles et les cloisons isolées et mobiles doivent respecter les exigences suivantes:

a) les bords des volets isolants ne doivent pas être installés dans la zone dangereuse;

b) les distances de sécurité sont admises à l'extérieur de la zone dangereuse:
   – jusqu'à 10 mm de largeur, sans limitation,
   – jusqu'à 40 mm de largeur, à condition que la distance entre le bord du volet et la zone dangereuse soit d'au moins 100 mm,
   – jusqu'à 100 mm de largeur au voisinage des bases des sectionneurs.

Les cloisons isolées et mobiles, utilisées comme barrières de protection contre les parties actives, doivent faire partie du matériel ou être fournies séparément en conformité avec les exigences d’exploitation, après accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

Les cloisons isolées et mobiles doivent pouvoir être fixées de façon à ce que leur position ne puisse être modifiée accidentellement lorsque leur déplacement peut créer un danger.

Les cloisons isolées et mobiles utilisées comme barrières de protection contre les parties actives ne doivent pas toucher les parties actives ou être en contact avec elles.

Il doit être possible d'installer et d'enlever des cloisons isolées et mobiles sans que des personnes soient obligées de pénétrer dans la zone dangereuse.

NOTE Cette condition peut être réalisée par le type de volets isolants (par exemple, une cornière en tôle, des barres isolantes associées, et des tringles de commande appropriées) ou par l'installation (par exemple, des rails-guides).

8.4.5.2 Cloisons mobiles

Pour les installations sans cloisons de séparation installées de façon permanente, il convient de prévoir des cloisons mobiles appropriées pour séparer les armoires ou compartiments voisins sous tension conformément aux exigences d'exploitation. Lorsque cela est spécifié, leurs dimensions doivent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

Les cloisons mobiles qui pénètrent dans la zone dangereuse pendant l'installation ou l'enlèvement, ou qui se trouvent incorporées dans ladite zone lorsqu'elles sont installées, doivent satisfaire à l'exigence relative aux plaques isolantes mobiles.

Les cloisons isolées et mobiles utilisées comme barrières de protection contre les parties actives ne doivent pas toucher les parties actives ou être en contact avec elles.

8.4.6 Stockage de l'équipement de protection individuelle

Si un équipement de protection individuelle doit être stocké dans l'installation, un lieu doit être prévu à cet effet, où l'équipement est protégé contre l'humidité, la saleté et les dommages, tout en restant facilement accessible pour les personnes exécutant le travail.

8.5 Protection contre les dangers provenant d'un défaut d'arc

Les installations électriques doivent être conçues et installées de façon à ce que le personnel soit protégé dans toute la mesure du possible contre les défauts avec arc pendant l'exploitation.

La liste suivante des mesures de protection contre les dangers provenant d'un défaut avec arc doit servir de guide pour la conception et la construction des installations électriques. Le niveau d'importance de ces mesures doit faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

a) La protection contre les erreurs d'exploitation est assurée, par exemple, par l'utilisation des moyens suivants:
   - interrupteurs-sectionneurs au lieu de sectionneurs,
   - interrupteurs de mise à la terre dimensionnés pour tenir le courant de court-circuit,
   - dispositifs de verrouillage,
   - serrures à clés non interchangeables.

b) Passages de service aussi courts, hauts et larges que possible (voir 7.5).

c) Capots pleins tels qu'une enceinte ou une barrière de protection, au lieu de capots perforés ou d'un grillage.

d) Matériel soumis à l'essai pour résister à un défaut d'arc interne au lieu d'un matériel de type ouvert (par exemple, CEI 62271-200, CEI 62271-203).

e) Produits de l'arc dirigés loin du personnel d'exploitation et évacués hors du bâtiment, si nécessaire.

f) Utilisation de dispositifs limiteurs de courant.

g) Très court temps de déclenchement, obtenu par des relais instantanés ou par des dispositifs sensibles à la pression, la lumière ou la chaleur.

h) Fonctionnement de l'installation à partir d'une distance de sécurité.

i) Prévention de toute ré-alimentation par l'utilisation de dispositifs non-réinitialisables détectant les défaillances internes du matériel, permettant une décompression et fournissant une indication externe.

8.6 Protection contre les coups de foudre directs

Il existe différentes méthodes d'analyse. La méthode à utiliser doit faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

L'utilisateur doit choisir le niveau de protection à réaliser, en fonction du niveau de fiabilité requis, et la méthode de protection à employer.

NOTE 1 Pour les méthodes de calcul, voir par exemple l'Annexe E ou le Guide 998 de l'IEEE [28].

Les tiges des paratonnerres et les câbles de garde doivent être mis à la terre.

Il n'est pas nécessaire d'équiper une structure en acier avec un conducteur de mise à la terre séparé, dans le cas où la structure fournit elle-même un cheminement approprié pour le courant de foudre.

Les câbles de garde doivent être reliés à la structure en acier ou au conducteur de mise à la terre pour assurer que le courant de foudre est dérivé vers la terre. Pour les bâtiments et les structures similaires, voir la série CEI 62305.

Il convient de faire référence à la CEI 62305-4 pour les normes associées.

NOTE 2 Pour des raisons économiques et techniques, les dommages résultant de coups de foudre ne peuvent être totalement évités.

8.7 Protection contre l'incendie

8.7.1 Généralités

Les règlements locaux, régionaux et nationaux appropriés concernant la protection contre l'incendie doivent être pris en considération lors de la conception de l'installation.

NOTE Les dangers d'incendie et risques d'incendie du matériel électrique se divisent en deux catégories: la victime de l'incendie et la cause de l'incendie. Il convient de prendre en considération les mesures de prévention applicables à chaque catégorie dans les exigences d'installation.

a) Mesures de prévention applicables à la victime de l'incendie:

   i) séparation physique d'avec le foyer (cause) de l'incendie;

   ii) prévention de la propagation des flammes:

      – agencement physique du poste,

      – rétention des liquides,

      – séparations ignifuges (par exemple, cloisons pare-feu avec une résistance au feu d'au moins 60 minutes),

      – système d'extinction;

b) Mesures de prévention applicables à la cause de l'incendie:

   i) protection électrique;

   ii) protection thermique;

   iii) protection contre la pression;

   iv) matériaux non combustibles.

On doit s'assurer qu'en cas d'incendie, les voies d'évacuation et de sauvetage ainsi que les issues de secours peuvent être utilisées (voir 7.1.6).

L'utilisateur ou le propriétaire de l'installation doit spécifier toutes les exigences applicables au matériel d'extinction d'incendie.

Des dispositifs automatiques de protection contre les incendies de matériel dus à une surchauffe importante, aux surcharges et aux défauts (internes et externes) doivent être prévus en fonction de la dimension et de l'importance de l'installation.

Les matériels dans lesquels des étincelles, des arcs, des explosions ou des températures élevées peuvent se produire, par exemple, des machines électriques, transformateurs, résistances, interrupteurs et fusibles, ne doivent pas être utilisés dans les zones d'exploitation présentant un danger d'incendie, à moins que la construction de ces matériels soit telle qu'ils ne puissent pas enflammer des matières inflammables.

Si cela ne peut être assuré, des mesures de prévention spéciales sont nécessaires, par exemple, l'usage de cloisons pare-feu, séparations résistantes au feu, chambres, enveloppes et rétentions.

Il convient de considérer la séparation des diverses sections de l'appareillage par des cloisons pare-feu. Cela peut être réalisé par des conduits traversant la cloison pare-feu et dont les câbles interconnectent les diverses sections de l'appareillage.

8.7.2 Transformateurs, réactances

Dans les paragraphes qui suivent, le terme «transformateur» recouvre à la fois les « transformateurs et les réactances ».

Pour l'identification des types de fluide de refroidissement, voir 6.2.2.

La CEI 61100 donne la classification des liquides isolants selon le point d'inflammation et le pouvoir calorifique inférieur (chaleur de combustion). La CEI 60076-11 classe les transformateurs secs en termes de leur comportement au feu.

Le danger d'incendie associé aux transformateurs des installations extérieures et intérieures dépend du classement du matériel, du volume et du type de milieux isolants, du type et de la proximité, ainsi que de l'exposition des structures et matériels voisins. Une ou plusieurs mesures de sauvegarde reconnues doivent être utilisées conformément à l'évaluation du risque.

NOTE Pour la définition du risque, voir le Guide 51 ISO/CEI.

Des fosses ou réservoirs de récupération communs à plusieurs transformateurs, le cas échéant, doivent être prévus de telle sorte qu'un incendie dans un transformateur ne puisse pas se propager à un autre.

Ce qui précède s'applique aux fosses individuelles raccordées aux réservoirs de récupération d'autres transformateurs; des couches de pierres concassées, des grillages de protection contre l'incendie ou des tuyaux remplis de fluide peuvent, par exemple, être utilisés dans ce but. Les dispositions tendant à réduire le danger d'incendie du fluide répandu sont préférables.

8.7.2.1 Installations extérieures

La disposition d'une installation extérieure doit être telle que l'incendie d'un transformateur contenant un volume de liquide supérieur à 1 000 l n'expose pas les autres transformateurs ou objets au risque d'incendie, à l'exception de ceux directement associés au transformateur. Dans ce but, des distances de sécurité, G_1, G_2, adéquates doivent être nécessaires. Le Tableau 3 donne des valeurs indicatives. Lorsque des transformateurs contenant un volume de liquide inférieur à 1 000 l sont installés à proximité de murs en matériau combustible, des précautions spéciales contre l'incendie peuvent être nécessaires en fonction de la nature et de l'utilisation du bâtiment.

Si un matériel d'extinction automatique est installé, les distances de sécurité G_1/G_2 peuvent être réduites.

La réduction des distances G_1/G_2 doit faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur.

S'il n'est pas possible d'assurer la distance de sécurité appropriée indiquée au Tableau 3, des cloisons de séparation résistantes au feu doivent être prévues avec les dimensions suivantes:

a) cloisons de séparation entre les transformateurs (voir Figure 6). Par exemple EI 60:
   - hauteur: sommet du vase d'expansion (s'il existe), sinon le sommet de la cuve du transformateur;
   - longueur: largeur ou longueur de la fosse de récupération (dans le cas d'un transformateur sec, la largeur ou la longueur du transformateur, en fonction de l'orientation du transformateur);
b) cloisons de séparation entre les transformateurs et les bâtiments. Par exemple EI 60; si une cloison de séparation coupe-feu supplémentaire n'est pas prévue, il convient que le classement du mur du bâtiment soit augmenté, REI 90 par exemple (voir Figure 7).

NOTE 1 REI représente le système porteur (mur), tandis que EI représente le système non porteur (mur), où R est la portance, E est l'étanchéité au feu, I est l'isolation thermique et 60/90 la durée de résistance au feu en minutes.

NOTE 2 Des définitions de la résistance au feu sont données dans la EN 13501-2[37].

Tableau 3 – Valeurs indicatives pour les distances de sécurité des transformateurs à l'extérieur

Type de transformateur	Volume de liquide	Distance de sécurité G_1 par rapport aux autres transformateurs ou à la surface d'un bâtiment non combustible	Distance de sécurité G_2 par rapport à la surface d'un bâtiment en matériau combustible
	l	m	m
Transformateurs à huile (O)	1 000 <....< 2 000	3	7,5
	2 000 ≤....< 20 000	5	10
	20 000 ≤....< 45 000	10	20
	≥ 45 000	15	30
Transformateurs isolés à liquides moins inflammables (K) sans protection renforcée	1 000 <....< 3 800	1,5	7,5
	≥ 3 800	4,5	15

Transformateurs isolés à liquides moins inflammables (K) avec protection renforcée	Distance de sécurité G_1 par rapport à la surface du bâtiment ou aux transformateurs voisins	
	Horizontale	Verticale
	m	m
	0,9	1,5

Transformateurs secs (A)	Classe de comportement au feu	Distance de sécurité G_1 par rapport à la surface du bâtiment ou aux transformateurs voisins	
		Horizontale	Verticale
		m	m
	F0	1,5	3,0
	F1	Néant	Néant

NOTE 1 Les moyens de protection renforcée signifient

– la résistance à la rupture des réservoirs,

– la décompression des réservoirs,

– la protection contre les défauts à faible intensité,

– la protection contre les défauts à intensité élevée.

Pour un exemple de protection renforcée, voir la norme globale 3990 Factory Mutual (mutuelle industrielle) [33], ou un document équivalent.

NOTE 2 Il convient de réserver un espace suffisant pour le nettoyage périodique des enroulements de transformateur enrobés de résine, afin d'éviter des risques éventuels de défaut électrique ou un danger d'incendie dus au dépôt de pollution atmosphérique.

NOTE 3 Les matériaux non combustibles peuvent être choisis conformément à la norme EN 13501-1[36].

8.7.2.2 Installation de transformateurs à l'intérieur dans des locaux électriques fermés

Les exigences minimales applicables à l'installation de transformateurs à l'intérieur sont données au Tableau 4.

Tableau 4 – Exigences minimales applicables à l'installation de transformateurs à l'intérieur

Type de transformateur	Classe	Mesures de sauvegarde
Transformateurs à huile (O)	Volume de liquide	
	≤ 1 000 l	EI 60 ou REI 60 respectivement
	> 1 000 l	EI 90 ou REI 90 **ou** EI 60 ou REI 60 respectivement, et protection par sprinkleurs automatiques
Transformateurs isolés à liquides moins inflammables (K)	Puissance nominale/tension maximale	
Sans protection renforcée	(aucune restriction)	EI 90 ou REI 60 respectivement **ou** protection par sprinkleurs automatiques
Avec protection renforcée	≤ 10 MVA et U_m ≤ 38 kV	EI 60 ou REI 60 respectivement, **ou** distances de séparation de 1,5 m horizontalement et 3,0 m verticalement
Transformateurs secs (A)	Classe de comportement au feu	
	F0	EI 60 ou REI 60 respectivement, **ou** distances de séparation de 0,9 m horizontalement et 1,5 m verticalement
	F1	Cloisons non combustibles

NOTE 1 REI représente le système porteur (mur), tandis que EI représente le système non porteur (mur) où R est la portance, E est l'étanchéité au feu, I est l'isolation thermique et 60/90 la durée de résistance au feu en minutes.

NOTE 2 Des définitions de la résistance au feu sont données dans la norme EN 13501-2[37].

NOTE 3 Une protection renforcée signifie

– la résistance à la rupture des réservoirs,

– la décompression des réservoirs,

– la protection contre les défauts à faible intensité,

– la protection contre les défauts à intensité élevée.

Pour un exemple de protection renforcée, voir la norme globale 3990 Factory Mutual [mutuelle industrielle) [33], ou un document équivalent.

NOTE 4 Il convient de réserver un espace suffisant pour le nettoyage périodique des enroulements de transformateur enrobés de résine, afin d'éviter des risques éventuels de défaut électrique ou un danger d'incendie dus au dépôt de pollution atmosphérique.

Les portes doivent avoir une résistance au feu d'une durée d'au moins 60 min. Les portes qui s'ouvrent vers l'extérieur sont appropriées si elles sont constituées d'un matériau de faible inflammabilité. Les ouvertures de ventilation nécessaires au fonctionnement des transformateurs sont admises dans les portes ou les parois adjacentes. Lors de la conception des ouvertures, la possibilité pour les gaz chauds de s'échapper doit être prévue.

8.7.2.3 Installations à l'intérieur des bâtiments industriels

Pour tous les transformateurs implantés à l'intérieur de bâtiments industriels, des dispositifs de protection à action rapide assurant une coupure automatique immédiate en cas de défaut sont nécessaires.

Les transformateurs à fluide de refroidissement de type O requièrent les mêmes dispositions que celles indiquées en 8.7.2.2.

Pour tous les autres transformateurs immergés dans un liquide, aucune disposition spéciale n'est prescrite au titre de la protection contre l'incendie, sauf pour les dispositions concernant la rétention du liquide en cas de fuite et la fourniture de dispositifs portatifs de lutte contre l'incendie appropriés aux matériels électriques.

Les transformateurs de type sec (A) exigent le choix d'une classe correcte de comportement au feu suivant l'activité de l'industrie et les matériaux avoisinants. Des dispositifs d'extinction de l'incendie sont recommandés, en particulier pour la classe F0.

NOTE Pour tous les transformateurs implantés dans des bâtiments industriels, des précautions supplémentaires à prendre contre l'incendie peuvent être nécessaires, suivant la nature et l'utilisation du bâtiment.

8.7.2.4 Installations intérieures dans les bâtiments occupés en permanence

Dans les installations à haute tension situées dans des bâtiments publics ou résidentiels, des conditions spéciales doivent être respectées conformément aux normes ou aux règlements nationaux existants.

8.7.2.5 Incendie à proximité des transformateurs

Lorsqu'il existe un risque exceptionnel d'exposition du transformateur à un incendie extérieur, il doit être tenu compte des éléments suivants

– cloisons de séparation coupe-feu;
– enveloppes étanches au gaz pouvant résister à la pression interne générée;
– sortie contrôlée du liquide chaud;
– systèmes d'extinction d'incendie.

8.7.3 Câbles

Le risque de propagation du feu et ses conséquences doit être réduit dans toute la mesure du possible par le choix de câbles appropriés et leur mode d'installation.

Les câbles peuvent être regroupés selon les catégories suivantes:

– câbles sans tenue particulière vis-à-vis du feu;
– câbles (individuels) non propagateurs de la flamme (série CEI 60332);
– câbles (en faisceau) non propagateurs de la flamme (série CEI 60332);
– câbles à faible émission de fumées (CEI 61034-1);
– câbles à faible émission de gaz acides et corrosifs (CEI 60754-1 et CEI 60754-2);
– câbles résistant au feu (CEI 60331-21 ou CEI 60331-1).

La pose de câbles dans des tranchées et des bâtiments doit respecter les règlements concernant la sécurité en cas d'incendie du bâtiment. Par exemple, afin d'éviter la propagation du feu, les orifices par lesquels les câbles passent d'un local à l'autre doivent être obturés au moyen d'un matériau approprié.

Une séparation physique ou un cheminement différent entre les circuits de puissance et les circuits de commande des matériels à haute tension sont recommandés s'il est nécessaire de préserver l'intégrité de ces derniers aussi longtemps que possible après que les circuits de puissance ont été endommagés.

Si nécessaire, un système d'alarme et des systèmes d'extinction de l'incendie doivent être installés dans les galeries et les chemins de câbles dans le sous-sol des bâtiments de commande.

8.7.4 Autres matériels contenant un liquide inflammable

Pour tout matériel, tel que les appareillages contenant plus de 100 l de liquide inflammable dans chaque compartiment séparé, des précautions spéciales à prendre contre l'incendie, comme spécifié pour les transformateurs, peuvent être nécessaires, suivant la nature et l'utilisation de l'installation et suivant son emplacement.

8.8 Protection contre les fuites de liquide isolant et de gaz SF_6

8.8.1 Fuites de liquide isolant et protection de la nappe phréatique

8.8.1.1 Généralités

Des mesures doivent être prises pour contenir toute fuite éventuelle issue des matériels immergés dans un liquide afin d'éviter tout dommage à l'environnement. Les règlements nationaux et/ou locaux peuvent spécifier la quantité minimale de liquide contenue dans un matériel pour lequel une rétention est requise. A titre indicatif, en l'absence de règlements nationaux et/ou locaux, il convient de prévoir une rétention autour des matériels immergés dans un liquide contenant une quantité de liquide supérieure à 1 000 l (selon l'IEEE 980: 2 500 l).

NOTE Dans tous les cas, il convient de prendre en compte les règlements locaux et les autorisations obtenues, si nécessaire.

8.8.1.2 Système de rétention pour le matériel installé à l'intérieur

Dans les installations intérieures, les déversements de liquide isolant peuvent être retenus par la mise en place de sols imperméables avec seuils autour de la zone où le matériel est implanté, ou en récupérant le liquide déversé dans une zone de rétention désignée dans le bâtiment (voir Figure 11).

Le volume de liquide isolant dans le matériel ainsi que les éventuelles évacuations d'eau d'un système de protection contre l'incendie doivent être pris en considération pour décider de la hauteur du seuil ou du volume de la zone de rétention.

8.8.1.3 Système de rétention pour le matériel installé à l'extérieur

La quantité de liquide isolant dans le matériel, le volume d'eau issu des précipitations et des systèmes de protection contre l'incendie, la proximité des cours d'eau et les conditions du sol doivent être pris en considération lors du choix d'un système de rétention.

NOTE 1 Les rétentions (fosses) autour d'un matériel immergé dans un liquide et/ou les cuves de rétention (réservoirs de récupération) sont largement utilisées pour éviter le déversement dans l'environnement du liquide isolant du matériel.

Les rétentions et les réservoirs de récupération, lorsqu'ils sont fournis, peuvent être conçus et disposés comme suit:

– réservoirs;
– fosse avec réservoir de récupération intégré pour la totalité des liquides (Figure 8);
– fosse avec réservoir de récupération séparé. Lorsqu'il existe plusieurs fosses, les conduites de vidange peuvent être reliées à un réservoir de récupération commun. Il convient que ce dernier soit alors capable de contenir les liquides du transformateur le plus important (Figure 9);
– fosse avec réservoir de récupération intégré commun à plusieurs transformateurs, capable de contenir les liquides du transformateur le plus important (Figure 10).

Les murs et les tuyaux des fosses et des réservoirs de récupération associés doivent être imperméables au liquide.

La capacité des fosses et des réservoirs de récupération pour les liquides isolants et les fluides de refroidissement ne doit pas être réduite de façon inacceptable par de l'eau circulant à l'intérieur. Il doit être possible d'évacuer ou de pomper l'eau.

L'utilisation d'un dispositif simple pour indiquer le niveau du liquide est recommandée.

Il doit être tenu compte du risque de gel.

Les mesures supplémentaires suivantes doivent être prises pour la protection du réseau de distribution d'eau et de la nappe phréatique:

– le débordement de liquide isolant et de fluide de refroidissement venant de l'ensemble fosse/réservoir/sol doit être empêché (pour les exceptions, voir 8.8.1.1);
– il convient que l'eau évacuée passe à travers des dispositifs de séparation des fluides; dans ce but, la densité des différents fluides doit être prise en compte.

Pour les installations extérieures, il est recommandé que la longueur et la largeur de la fosse soient égales à la longueur et à la largeur des transformateurs, augmentées de chaque côté de 20 % de la distance entre le point le plus haut du transformateur (y compris le conservateur) et le niveau haut du système de rétention.

NOTE 2 L'IEEE 980 recommande par ailleurs que la rétention des déversements s'étende au minimum à 1 500 mm au-delà de toute partie du matériel remplie de liquide.

Les lois et règlements nationaux et régionaux doivent être pris en compte.

8.8.2 Fuite de gaz SF_6

Les recommandations pour l'utilisation et la manipulation du gaz SF_6 sont données dans la CEI/TR 612771-303.

Afin de couvrir le risque peu probable d'une fuite anormale, une ventilation doit être prévue dans le local d'appareillage et dans les autres emplacements accessibles où une accumulation de gaz peut représenter un danger. En cas d'installation extérieure, aucune précaution particulière n'est nécessaire.

Dans les locaux contenant des installations SF_6 au-dessus du sol, une aération naturelle est suffisante si le volume de gaz du plus grand compartiment à la pression atmosphérique n'est pas supérieur à 10 % du volume du local accessible. Si cette exigence ne peut être satisfaite, une ventilation mécanique doit être installée.

Dans les locaux où se trouvent des installations SF_6 situées entièrement au-dessous du sol, une ventilation mécanique doit être prévue si le gaz, en quantité dangereuse pour la santé et la sécurité du personnel (voir la note ci-dessous), peut être recueilli, en fonction de la quantité de gaz et des dimensions du local.

Les locaux, conduits, fosses, puits, etc. situés sous les locaux contenant des installations SF_6 et qui communiquent avec ces derniers doivent pouvoir être ventilés.

Afin de garantir qu'il ne peut se produire aucune décomposition thermique de SF_6 présent dans l'atmosphère, les dispositions suivantes doivent être prises:

- aucune partie, en contact avec l'air, de chaque matériel installé dans le local d'appareillage ne doit dépasser une température de 200 °C;
- lors du remplissage du matériel au cours de sa mise en œuvre sur site (systèmes non scellés), il convient de prendre des mesures d'interdiction de fumer, d'allumer un feu en plein air et d'effectuer des soudures dans les zones de travail.

NOTE Pour la concentration maximale de gaz SF_6, il convient de prendre en compte les règlements nationaux.

8.8.3 Défaillance avec perte de gaz SF_6 et de ses produits de décomposition

Les recommandations pour l'utilisation et la manipulation du gaz SF6 sont données dans la CEI/TR 612771-303.

NOTE Des recommandations ont été publiées par la CIGRE 23-04 [29].

8.9 Identification et marquage

8.9.1 Généralités

Des moyens d'identification clairs et un marquage ne prêtant pas à confusion sont requis pour éviter des interventions incorrectes, une erreur humaine, des accidents, etc. pendant les opérations d'entretien et d'exploitation (voir également 7.1.7).

Les pancartes, panneaux et notices doivent être constitués d'un matériau durable et non corrosif, et imprimés avec des caractères indélébiles.

L'état de fonctionnement de l'appareillage doit être clairement indiqué, sauf si les contacts principaux peuvent être clairement vus par l'opérateur.

Les extrémités de câbles et les accessoires doivent être identifiés. Un marquage approprié doit être fourni, rendant possible l'identification sur une liste ou un schéma de câblage.

8.9.2 Plaques d'identification et plaques de mise en garde

Dans les locaux électriques fermés et dans les bâtiments industriels, tous les locaux contenant du matériel électrique doivent comporter, à l'extérieur et sur chaque porte d'accès, les informations nécessaires identifiant le local et indiquant les dangers possibles.

Les couleurs et les contrastes de couleurs doivent respecter les normes CEI ou les règlements nationaux en vigueur.

8.9.3 Avertissement concernant les dangers dus à l'électricité

Toutes les portes d'accès aux locaux électriques fermés et tous les côtés des clôtures et mâts, pylônes et tours extérieurs équipés d'un transformateur ou dispositif de commutation doivent être munis d'un panneau d'avertissement.

Les panneaux doivent respecter les normes CEI ou les règlements nationaux en vigueur.

8.9.4 Installations avec des condensateurs incorporés

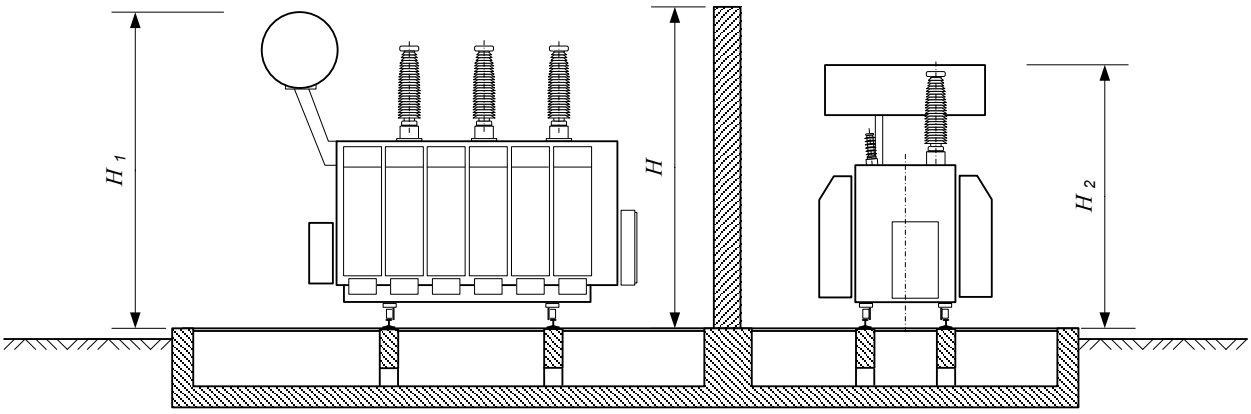
Les condensateurs doivent être munis d'une étiquette d'avertissement indiquant le temps de décharge.

8.9.5 Panneaux de sécurité pour sorties de secours

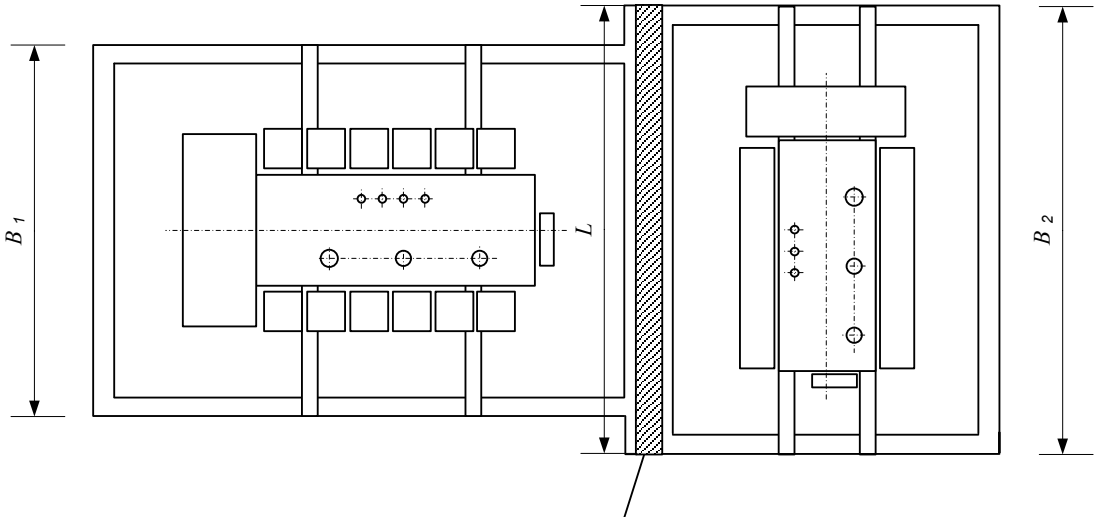
Les sorties de secours doivent être indiquées par un fléchage de sécurité approprié. Les panneaux doivent respecter les normes CEI ou les règlements nationaux en vigueur.

8.9.6 Marquage d'identification des câbles

Il convient d'identifier les points d'entrée des câbles dans les bâtiments. Les marquages d'identification ne doivent pas être apposés sur des couvercles amovibles ou sur des portes pouvant être interchangées.



$H \geq H_1$ (avec $H_1 > H_2$)
$L \geq B_2$ (avec $B_2 > B_1$)



Résistance minimale au feu de 60 min pour la cloison de séparation (EI 60)

IEC 1869/10

Figure 6 – Cloisons de séparation entre les transformateurs

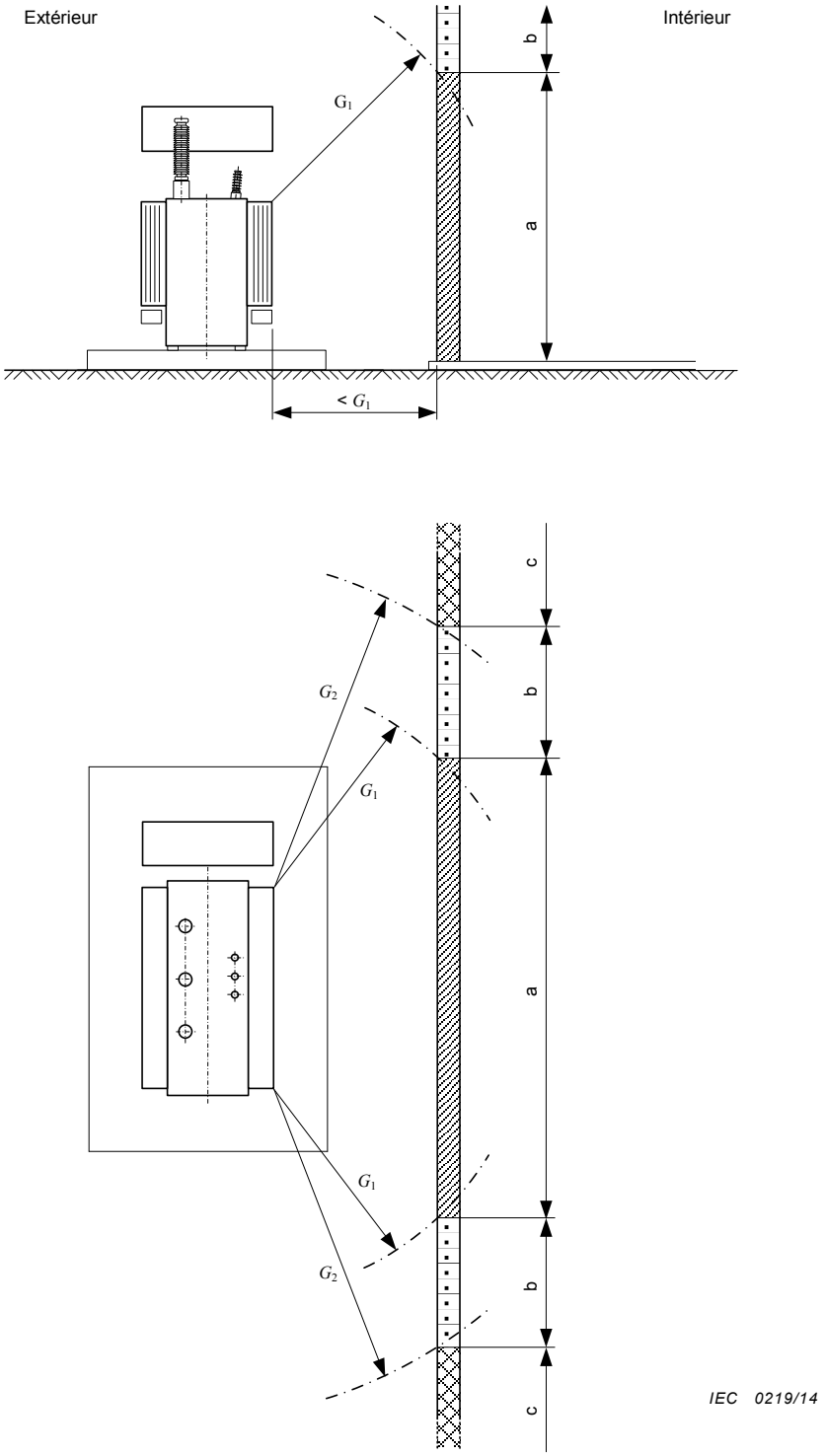


Figure 7a) Protection contre l'incendie entre le transformateur et la surface du bâtiment en matériau non combustible

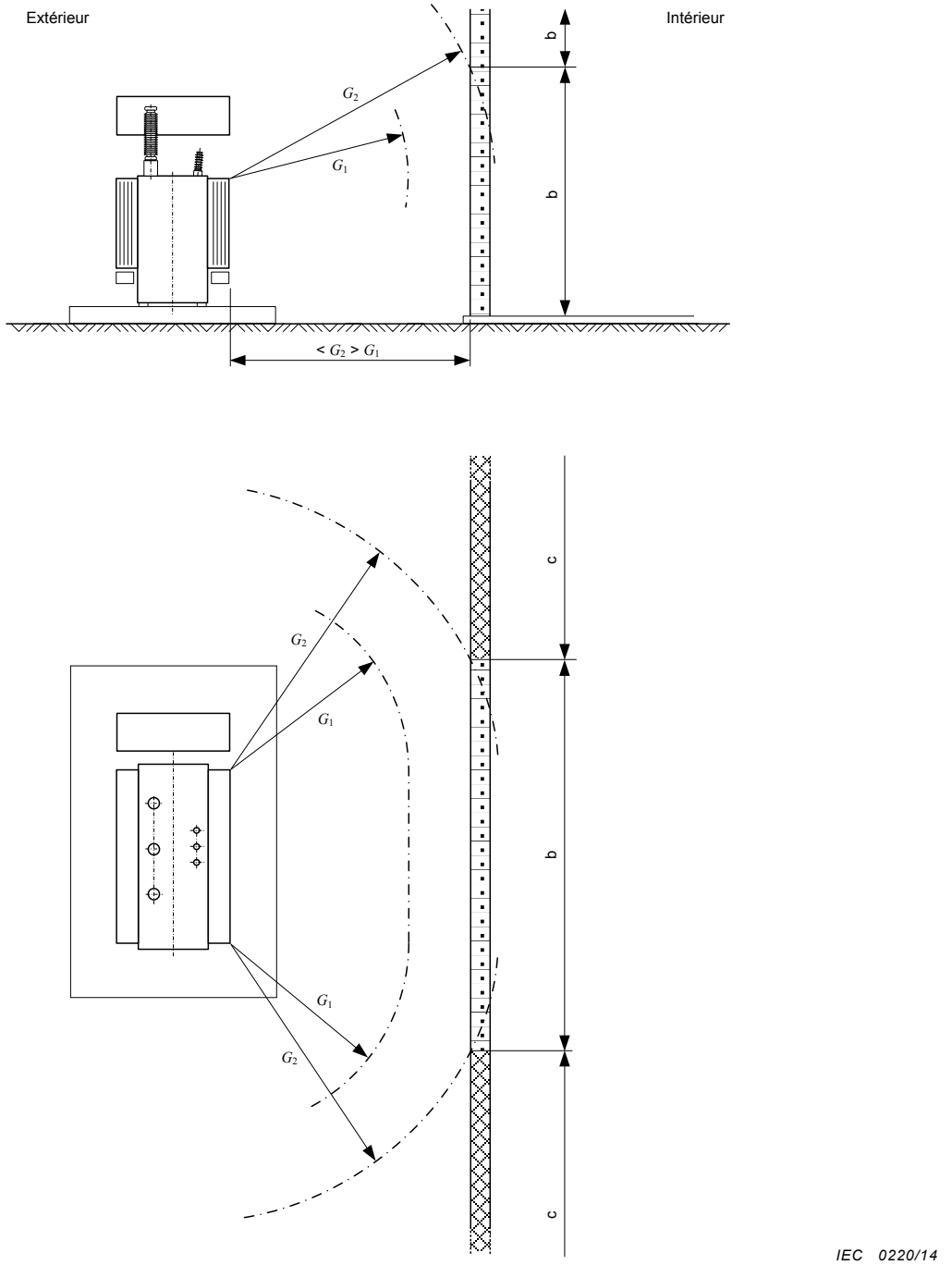


Figure 7b) Protection contre l'incendie entre le transformateur et la surface du bâtiment en matériau combustible

Légende

Pour les distances de sécurité G_1 et G_2, voir Tableau 3

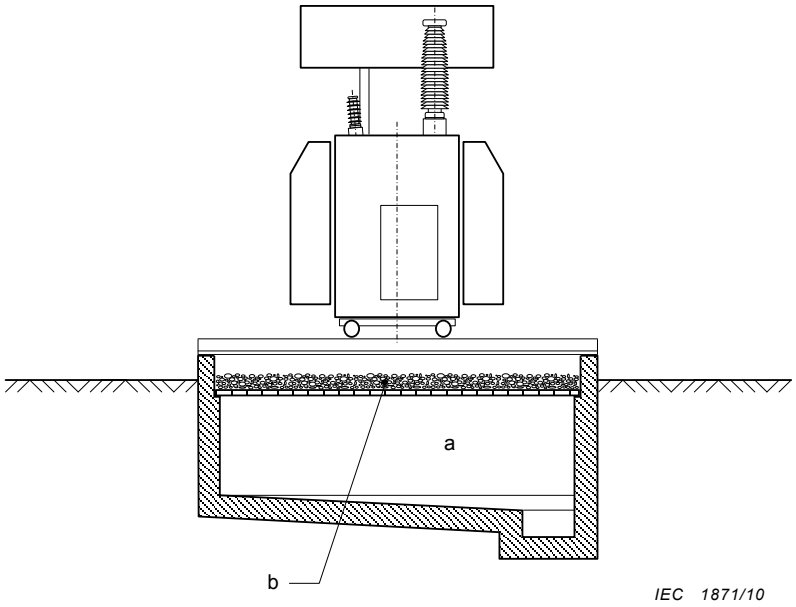
Secteur a Le mur dans cette zone doit être conçu avec une résistance au feu minimale de 90 min (REI 90)

Secteur b Le mur dans cette zone doit être conçu avec des matériaux non combustibles

Secteur c Aucune exigence de protection contre l'incendie

NOTE En raison du risque de propagation verticale du feu, le secteur c s'applique uniquement dans le sens horizontal.

Figure 7 – Protection contre l'incendie entre le transformateur et le bâtiment



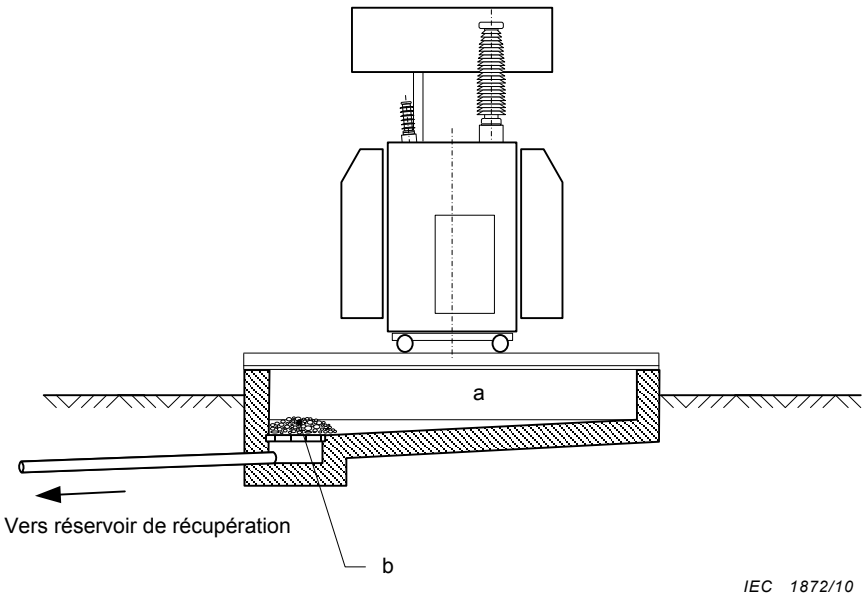
Légende

a Rétention: toute la quantité de fluide du transformateur plus l'eau de pluie

b Pour des informations concernant les grillages de protection contre l'incendie ou les sorties pare-feu, voir 8.7.2

NOTE En complément, il convient de prendre en compte l'eau provenant de l'installation d'extinction de l'incendie (si elle existe).

Figure 8 – Fosse avec réservoir de récupération intégré

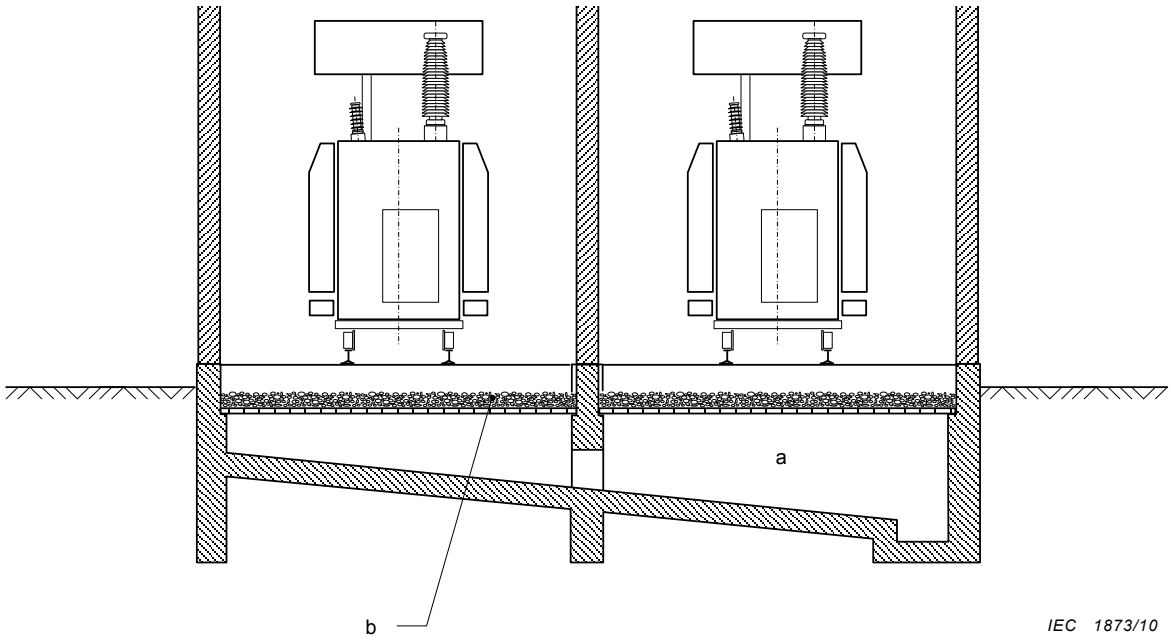


Légende

a Rétention: au minimum 20 % du fluide du transformateur

b Pour des informations concernant les grillages de protection contre l'incendie ou les sorties pare-feu, voir 8.7.2

Figure 9 – Fosse avec réservoir de récupération séparé



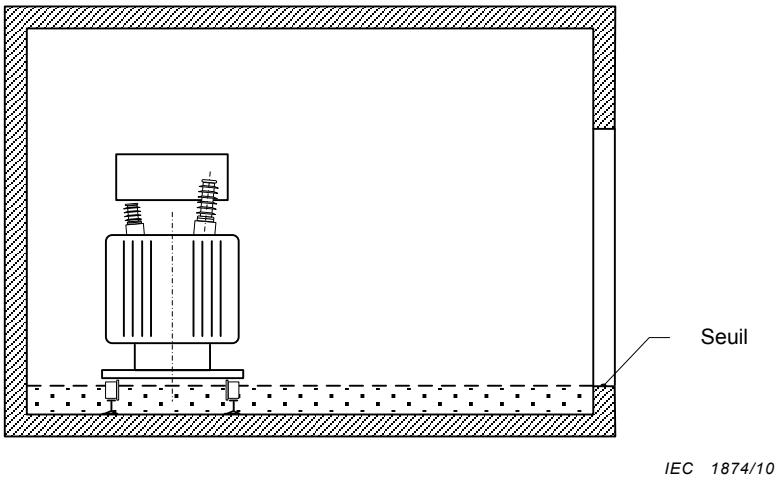
Légende

a Rétention à l'extérieur: toute la quantité de fluide du transformateur le plus important plus l'eau de pluie
Rétention à l'intérieur: toute la quantité de fluide du transformateur le plus important

b Pour des informations concernant les grillages de protection contre l'incendie ou les sorties pare-feu, voir 8.7.2

NOTE En complément, il convient de prendre en compte l'eau provenant de l'installation d'extinction incendie (si elle existe).

Figure 10 – Fosse avec réservoir de récupération commun intégré



NOTE La zone en pointillés représente le volume de la quantité totale de fluide isolant du transformateur répandue sur le sol.

Figure 11 – Exemple de petits transformateurs sans couche de gravier ni réservoir de récupération

9 Systèmes de protection, de commande et auxiliaires

9.1 Systèmes de surveillance et de commande

Des dispositifs de surveillance, de protection, de régulation et de commande doivent être prévus, si nécessaire, pour assurer le bon fonctionnement en toute sécurité du matériel.

Des dispositifs automatiques, conçus de manière à assurer sélectivité et rapidité de fonctionnement, doivent assurer une protection contre les effets des surcharges inacceptables et des défauts internes et externes, adaptée à la taille et à l'importance de l'installation.

On doit prendre en considération la protection contre les effets suivants:

– surintensité, court-circuit et défaut à la terre;
– surcharge et effet thermique;
– surtension;
– baisse de tension;
– baisse de fréquence.

Les études de coordination des protections doivent être menées d'un commun accord entre l'utilisateur et le fournisseur afin de déterminer les réglages des dispositifs de protection. Des protections de secours contre les courts-circuits, et les défauts à la terre doivent être mises en place lorsque l'élimination des défauts à la terre est exigée.

Les baisses de fréquence sont souvent la conséquence d'un problème du réseau de puissance. Pour les installations alimentées par un réseau de puissance, des relais de délestage par baisse de fréquence peuvent être exigés conformément aux réglementations locales ou aux exigences du réseau de puissance. Pour les installations comprenant leur propre alimentation de puissance indépendante, il convient de considérer l'installation de délesteur de charge afin d'éviter la perte totale de l'alimentation lors des perturbations.

Des études doivent être effectuées pour déterminer les surtensions possibles en fonctionnement normal. Des protections doivent être installées lorsque des surtensions peuvent dépasser les limites tolérables des matériels installés.

Les effets des baisses de tension sur le fonctionnement du matériel électrique doivent être pris en considération. Des dispositifs détectant les baisses de tension doivent être prévus si nécessaire afin d'initier des transferts automatiques vers d'autres sources d'alimentation, ou de déconnecter les matériels afin d'éviter un fonctionnement anormal ou l'occurrence de tout dommage.

Le matériel doit être conforme à la classe de sévérité (voir la série CEI 60255) correspondant à la partie de l'installation dans laquelle il est implanté.

Des moyens doivent être prévus pour isoler le circuit de commande de chacun des appareillages de commutation primaires ou de chacune des baies d'appareillage pour permettre la maintenance des matériels haute tension en toute sécurité.

Des dispositions doivent être prises pour permettre la réparation, la maintenance et/ou l'essai des dispositifs de protection et de commande sans danger pour le personnel ou le matériel.

Les circuits de commande et les circuits de signalisation doivent de préférence être séparés fonctionnellement. Les signaux de déclenchement doivent s'afficher sur le panneau de protection si celui-ci existe.

Les équipements de signalisation d'alarmes et de défauts doivent clairement signaler les dangers et conditions de défaut; plusieurs signaux peuvent être combinés en un signal commun pour transmission à un point de contrôle-commande distant.

Les équipements et le système de commande, y compris les câbles et cordons, doivent être conçus et installés de manière à réduire au minimum la possibilité de dommage aux matériels connectés dû aux perturbations électromagnétiques. Les règles de base sont données en 9.6.

Les équipements et le système de commande, y compris les câbles et cordons, doivent être conçus et installés de manière à réduire au minimum les risques de défaut de fonctionnement, manœuvre intempestive ou information incorrecte. En satisfaisant à cette exigence, les influences telles que les chutes de tension, les pannes d'alimentation, les défauts d'isolement et les effets des perturbations électromagnétiques doivent être prises en compte.

Les éléments de commande d'un appareillage doivent être conçus et installés de manière à éviter tout actionnement intempestif.

Lorsqu'une télécommande est disponible, la sélection entre commande locale et télécommande doit s'effectuer au poste d'exploitation local (c'est-à-dire à l'endroit ou à proximité immédiate des commutateurs).

Le circuit de commande des dispositifs de commutation fonctionnant à distance ou automatiquement doit comporter des moyens appropriés, à proximité du dispositif, pour éviter tout fonctionnement accidentel lors d'opérations planifiées.

Lorsque cela est exigé, le système de surveillance et de commande doit intégrer le délesteur de charge, l'arrêt d'urgence, le transfert automatique et la reconfiguration du réseau, le redémarrage et la réaccélération des moteurs, etc. afin de maintenir les conditions de fonctionnement sûr lors des perturbations sur le réseau électrique.

Pour des raisons de sécurité, il est recommandé que les interfaces câblées des matériels de commande des processus industriels soient conçues de manière que la maintenance des circuits de commande du processus puisse être effectuée sans accéder aux matériels haute tension, par exemple, en interposant des relais dans une armoire séparée.

9.2 Circuits d'alimentation en courant continu et courant alternatif

9.2.1 Généralités

Les alimentations auxiliaires doivent être conçues pour les tolérances permises de variation de tension et de puissance maximale appropriée exigées par les matériels pour les systèmes de commandes et auxiliaires.

Les systèmes basse tension à courant alternatif et à courant continu doivent être conçus conformément à la série CEI 60364.

Des tableaux de contrôle auxiliaires doivent être prévus pour séparer et protéger les divers circuits auxiliaires.

Il convient qu'une perte ou une panne de tension dans le circuit d'alimentation génère un signal à destination d'un poste de commande.

Les alimentations de puissance peuvent être classées en groupes essentiel et non-essentiel. Il convient que les alimentations essentielles soient disponibles en permanence, sans interruption, tandis que les alimentations non essentielles peuvent faire l'objet de coupures.

9.2.2 Alimentation à courant alternatif

Pour les alimentations appartenant au groupe essentiel, telles que les alimentations d'un système de commande informatisé, ou l'alimentation de tout matériel dont l'arrêt suite à une coupure momentanée du courant peut se révéler dangereux, il est recommandé de prévoir une alimentation sans coupure appropriée.

Certains matériels (par exemple, les réchauffeurs des disjoncteurs SF_6) peuvent exiger de prévoir un commutateur d'alimentation.

9.2.3 Alimentation à courant continu

Les alimentations à courant continu doivent être capables d'alimenter toutes les charges en courant continu permanentes et les charges associées aux interventions essentielles. Ce résultat peut être atteint en choisissant un nombre approprié d'alimentations indépendantes de capacité suffisante.

Il est recommandé que les alimentations à courant continu telles que les batteries et les chargeurs soient dotées d'instruments de contrôle de la tension et du courant.

Les batteries à courant continu doivent être dimensionnées pour fournir l'alimentation permettant le fonctionnement d'une installation électrique lors de la perte totale de l'alimentation à courant alternatif des auxiliaires. La durée la plus probable de cette perte d'alimentation des auxiliaires doit être évaluée afin de permettre un dimensionnement et un choix adéquat des batteries à courant continu.

Le dimensionnement des batteries doit être basé sur le scénario le plus défavorable susceptible de provoquer une perte totale de l'alimentation à courant alternatif des auxiliaires (c'est-à-dire, interruption totale, défaut sur le jeu de barres principal de l'installation, etc.). La capacité minimale des batteries à courant continu doit être suffisante pour déclencher les disjoncteurs et sectionneurs au début de la période de décharge, pour alimenter la charge en courant continu et pour réenclencher les éléments de l'installation restaurant l'alimentation alternative.

Les groupes de batteries ayant des parties actives accessibles doivent être conservés dans un local ou une armoire uniquement accessible au personnel autorisé.

Les locaux ou armoires de batteries doivent être secs et correctement aérés pour limiter l'accumulation d'hydrogène. Les niveaux autorisés d'hydrogène et le nombre de renouvellements d'air recommandé doivent être conformes aux réglementations nationales.

Des moyens d'évacuation facile des locaux de batteries doivent être prévus. Des bassins oculaires, ou des équipements de protection individuelle doivent être prévus, de préférence à l'extérieur du local de batteries et à proximité de la porte dudit local.

Les groupes de batteries doivent de préférence être isolés des locaux de commande pour éviter la diffusion de fumées et tout contact accidentel.

Lorsque le risque d'explosion ne peut pas être évité, des matériels protégés contre les explosions doivent être utilisés (voir la CEI 60079-0).

Le risque d'explosion dû à la combustion de mélanges gazeux en présence d'une flamme nue ou de pièces incandescentes doit être indiqué au moyen de panneaux résistant à la corrosion, lisibles et de dimensions appropriées.

Quelle que soit la ventilation assurée, les locaux contenant des batteries au plomb de type ouvert doivent être considérés comme des installations à environnement corrosif. Les murs, plafonds et planchers doivent être conformes aux exigences de protection contre la corrosion

et les produits gazeux. Des moyens doivent être prévus pour éviter l'entrée de substances corrosives dans les systèmes d'évacuation éventuels.

9.3 Systèmes à air comprimé

Les systèmes à air comprimé doivent être conçus de manière à être conformes à la législation en vigueur concernant les enceintes sous pression et les systèmes sous pression.

Des instruments et des alarmes doivent être prévus pour assurer le fonctionnement sûr et fiable du système à air comprimé.

Le système à air comprimé doit être capable de fournir de l'air à une humidité relative adaptée au type et à la pression de service du matériel à alimenter, dans toutes les conditions environnementales. Un équipement de séchage doit être prévu si nécessaire.

Les systèmes à air comprimé doivent être conçus de telle manière que l'eau puisse être évacuée de tous les récepteurs ou autres points où elle est susceptible de s'accumuler en cours de fonctionnement.

Le système à air comprimé doit être conçu pour fonctionner à sa capacité maximale et minimale dans toute la plage de conditions environnementales prévisibles pour l'appareillage et/ou le système associés. Un refroidissement adéquat des compresseurs doit être assuré ainsi qu'une protection appropriée permettant le fonctionnement intermittent dans des conditions de gel.

Les enceintes sous pression et les tuyauteries doivent être protégées contre la corrosion interne et externe.

La fonction des divers composants du système à air comprimé doit être clairement indiquée sur le matériel. Les différentes pressions doivent être indiquées sur les tuyauteries, enceintes et schémas par une méthode acceptable pour l'acquéreur.

Le système à air comprimé doit être doté de points de sectionnement et d'évacuation en nombre suffisant pour permettre la sectionalisation pour la maintenance conformément aux règles d'exploitation et de sécurité de l'utilisateur.

Les tuyauteries maintenues sous pression en permanence doivent être protégées contre les dommages dus aux arcs électriques directs.

Tous les organes de commande du système à air comprimé qui doivent être utilisés en exploitation doivent être disposés de manière à être accessibles en toute sécurité.

9.4 Installations de manipulation du gaz SF_6

Lorsque du gaz doit être manipulé et récupéré, une installation mobile doit être prévue pour transférer le gaz de et vers le matériel rempli de gaz afin de permettre la maintenance du matériel primaire. Cette installation mobile doit être capable d'évacuer et de stocker la plus grande quantité de gaz spécifiée et d'évacuer le plus grand volume spécifié au niveau de vide, ainsi que de la remplir une nouvelle fois à la pression de remplissage la plus élevée spécifiée par le constructeur. La conception et la capacité de l'installation mobile doivent être déterminées par accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

L'installation doit également être capable d'extraire de l'air à la pression atmosphérique du plus grand volume spécifié au niveau de vide indiqué par le constructeur. L'installation doit être capable de renvoyer le gaz vers le matériel et de recycler le gaz usagé à travers des filtres.

NOTE Les recommandations pour le traitement d'installations contenant du gaz SF_6 sont données dans la CEI 60480 et la CEI 62271-303.

9.5 Centrales d'hydrogène

Le générateur refroidi à l'hydrogène, ou le condenseur synchrone et son système de refroidissement par hydrogène doivent être installés de la manière suivante.

– La structure du générateur ou du condenseur synchrone et son système de refroidissement par hydrogène doit être étanche et capable d'éviter tout mélange air-hydrogène.
– Les générateur, condenseur synchrone, canalisations d'hydrogène, vannes et autres équipements du système hydrogène doivent être capables de supporter une explosion d'hydrogène à la pression atmosphérique.
– La centrale doit être pourvue d'un dispositif permettant de purger en sécurité l'hydrogène à l'air libre en cas de fuite de l'étanchéité du générateur.
– Un dispositif capable de remplir d'hydrogène le générateur ou le condenseur synchrone en toute sécurité doit être installé, ainsi qu'un dispositif capable d'expulser ce même hydrogène.
– Un instrument capable d'avertir en cas de fonctionnement anormal du matériel doit être installé.

9.6 Règles de base applicables à la compatibilité électromagnétique des systèmes de commande

9.6.1 Généralités

Le présent paragraphe traite de la protection des circuits de commande contre les perturbations électromagnétiques.

9.6.2 Sources de bruit électrique dans les installations à haute tension

Les perturbations peuvent être transmises aux installations à haute tension par conduction, couplage capacitif, induction ou rayonnement.

a) Les perturbations haute fréquence sont produites par
   – la commutation des circuits primaires,
   – les coups de foudre sur les lignes aériennes ou sur les composants reliés à la terre des installations à haute tension,
   – le fonctionnement des parafoudres avec intervalle d'air série,
   – la commutation des circuits secondaires,
   – les émetteurs radio à haute fréquence,
   – les décharges électrostatiques.
b) Les perturbations à basse fréquence sont produites par
   – les courts-circuits,
   – les défauts à la terre,
   – les champs électromagnétiques générés par le matériel (jeux de barres omnibus, câbles de puissance, réactances, transformateurs, etc.).

La protection contre les perturbations est basée sur deux principes généraux:

– la réduction de la pénétration des champs électromagnétiques dans le matériel,
– la réalisation de l' équipotentialité entre chaque équipement et l'installation de mise à la terre.

9.6.3 Mesures à prendre pour réduire les effets des perturbations à haute fréquence

Les recommandations énumérées ci-dessous sont les plus importantes pour réduire les effets des perturbations électromagnétiques à haute fréquence:

a) construction appropriée des transformateurs de mesure (transformateurs de tension, transformateurs de courant), blindage efficace entre enroulements primaire et secondaire, essais de comportement des émissions haute fréquence;

b) protection contre les coups de foudre;

c) amélioration de l'installation de mise à la terre et des connexions de terre (voir 10.3.3);

d) blindage des câbles des circuits secondaires:

   – il convient que les blindages soient continus;

   – il convient que les blindages aient une faible résistance (quelques ohms par kilomètre);

   – il convient que les blindages aient une faible impédance de transfert dans la plage de fréquence perturbatrice;

   – il convient que la mise à la terre des blindages soit aussi courte que possible;

   – il convient que les blindages soient reliés à la terre aux deux extrémités et en des points intermédiaires dans toute la mesure du possible;

   – il convient que les blindages soient reliés à la terre à leur entrée dans les armoires de commande de telle manière que les courants circulant dans les blindages n'affectent pas les circuits non blindés. Il convient que les connexions soient de préférence circulaires, par l'utilisation de presse-étoupe appropriés ou d'un mode opératoire de soudage;

e) regroupement de circuits: afin de réduire les surtensions en mode différentiel, il convient que les fils entrants et sortants associés à une même fonction soient regroupés dans le même câble. Il convient, dans toute la mesure du possible, de séparer les câbles de commande des autres câbles.

9.6.4 Mesures à prendre pour réduire les effets des perturbations à basse fréquence

Les recommandations énumérées ci-dessous sont les plus importantes pour réduire les effets des perturbations électromagnétiques à basse fréquence.

a) Mesures concernant la pose des câbles:

   – séparation entre les câbles de commande et les câbles de puissance par l'utilisation d'un espacement ou de cheminements différents;

   – il convient d’utiliser de préférence des câbles de puissance à disposition en trèfle plutôt que des câbles à disposition en nappe;

   – il convient, dans toute la mesure du possible, que le cheminement des câbles ne soit pas parallèle aux jeux de barres omnibus ou aux câbles de puissance;

   – il convient que les câbles de commande soient posés à l'écart des inductances et des transformateurs monophasés.

b) Mesures concernant la disposition des circuits:

   – il convient d’éviter les boucles;

   – pour les circuits d'alimentation en courant continu auxiliaires, une configuration radiale est préférable à une configuration en anneau;

   – il convient d’éviter toute protection de deux circuits à courant continu différents par le même disjoncteur miniature;

   – il convient d’éviter toute connexion en parallèle de deux bobines implantées dans des armoires séparées;

   – il convient que tous les fils du même circuit soient situés dans le même câble. Lorsque différents câbles doivent être utilisés, il convient qu’ils suivent le même cheminement.

c) Les câbles à paires torsadées sont recommandés pour les signaux à bas niveau.

9.6.5 Mesures liées au choix du matériel

L'installation doit être divisée en différentes zones, chacune correspondant à une classe d'environnement spécifique (voir 4.4).

Dans chaque zone, les matériels doivent être sélectionnés conformément à la classe d'environnement associée.

Si nécessaire, les mesures suivantes doivent être prises dans les circuits internes:

b) isolation métallique des circuits de signaux E/S;

b) installation de filtres sur les circuits d'alimentation auxiliaires;

c) installation de dispositifs limiteurs de tension tels que
   – circuits à condensateurs ou RC;
   – dispositifs de protection contre les surtensions à basse tension;
   – diodes Zener ou varistances;
   – diodes Transzorb.

Ces dispositifs doivent être installés à l'intérieur des matériels de protection et de commande.

Mesures supplémentaires concernant les appareillages isolés au gaz.

d) Connexion de grilles de renfort en béton à l'installation de mise à la terre en différents points, en particulier dans le plancher (voir l'Article 10).

e) Mise à la terre adéquate pour la fréquence industrielle et les effets transitoires au niveau des appareillages à isolation gazeuse/passages d'air et des tubes à isolation gazeuse. Ceci est obtenu par des connexions multiples entre l'enceinte et le mur du bâtiment (sur la grille de renfort ou le revêtement métallique) et connexions multiples entre le mur et l'installation de mise à la terre.

f) Conception adéquate et essais des matériels secondaires concernant leur immunité aux transitoires électriques.

9.6.6 Autres mesures possibles pour réduire les effets des perturbations

Les recommandations énumérées ci-dessous complètent, le cas échéant, les recommandations qui précèdent:

– l'installation des câbles de commande dans des conduits de câbles métalliques est recommandée. Il convient que la continuité et la mise à la terre des conduits soient assurées sur toute leur longueur;

– installer, chaque fois que possible, les câbles le long de surfaces métalliques;

– utiliser des câbles à fibre optique avec des matériels appropriés.

10 Installations de mise à la terre

10.1 Généralités

Le présent article énonce les critères à prendre en compte pour la conception, l'installation, les essais et la maintenance d'une installation de mise à la terre pour qu'elle fonctionne dans toutes les conditions et assure la sécurité des personnes à tout endroit où l'accès est autorisé. Il énonce également les critères permettant d'assurer l'intégrité des matériels connectés et situés à proximité de l'installation de mise à la terre.

10.2 Exigences fondamentales

10.2.1 Critères de sécurité

Le risque pour l'homme est qu'un courant suffisant pour entraîner la fibrillation ventriculaire traverse la région du cœur. La limite du courant pour les réseaux à fréquence industrielle est issue de la courbe appropriée de la CEI/TS 60479-1:2005. Cette limite de courant traversant le corps humain est transcrite en limites de tension afin de pouvoir la comparer avec les tensions de contact et de pas calculées en tenant compte des facteurs suivants:

– proportion de courant traversant la région du cœur;
– impédance du corps humain le long du parcours du courant;
– résistance entre les points de contact du corps et, par exemple, la structure métallique par rapport à la main, y compris les gants, les pieds, à une terre distante comprenant les chaussures ou le gravier;
– durée de défaut.

Il doit être également tenu compte du fait que la survenance des défauts, la grandeur du courant de défaut, la durée du défaut et la présence d'hommes sont par nature probabilistes.

Les paramètres de conception des installations de mise à la terre (exigences fondamentales applicables, par exemple courant de défaut, durée de défaut) doivent faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur.

Pour la conception de l'installation, la courbe indiquée à la Figure 12 est calculée selon la méthode définie à l'Annexe B.

NOTE La courbe est basée sur des données extraites de la CEI/TS 60479-1:2005 :

– impédance du corps humain, Tableau 1 de la CEI/TS 60479-1:2005 (pour 50 % de la population),
– courant admissible traversant le corps humain correspondant à la courbe c2 illustrée à la Figure 20 et au Tableau 11 de la CEI/TS 60479-1:2005 (probabilité de fibrillation ventriculaire inférieure à 5 %),
– facteur de courant de cœur selon le Tableau 12 de la CEI/TS 60479-1:2005.

Il convient d'utiliser la courbe de la Figure 12 donnant la tension de contact admissible. L'Annexe C montre la courbe de l'IEEE 80 pouvant être également utilisée en lieu et place de la courbe de la Figure 12.

En général, la satisfaction aux exigences relatives à la tension de contact signifie également la satisfaction aux exigences relatives à la tension de pas, dans la mesure où les limites tolérables pour la tension de pas sont plus élevées que celles de la tension de contact du fait du parcours différent du courant à travers le corps.

Pour les installations où le matériel haute tension n'est pas situé dans des locaux électriques fermés, par exemple, dans un environnement industriel, il convient d'utiliser une installation de mise à la terre globale afin d'éviter les tensions de contact issues des défauts haute tension, supérieures à la limite de basse tension donnée dans la CEI 60364-4-41 (par exemple, 50 V) [17].

10.2.2 Exigences fonctionnelles

L'installation de mise à la terre, ses composants et les conducteurs de liaison doivent être capables de répartir et d'écouler le courant de défaut sans dépasser les limites thermiques et mécaniques théoriques basées sur le temps de fonctionnement des protections de secours.

L'installation de mise à la terre doit conserver son intégrité pendant la durée de vie prévue de l'installation en prenant en compte la corrosion et les contraintes mécaniques.

Les performances de l'installation de mise à la terre doivent éviter toute détérioration du matériel due à une augmentation excessive du potentiel, aux différences de potentiel au sein de l'installation de mise à la terre et à des courants excessifs s'écoulant dans les trajets auxiliaires non prévus pour transporter une partie du courant de défaut.

L'installation de mise à la terre, combinée à des mesures appropriées, doit maintenir les potentiels de pas, de contact et de transfert dans les limites de tension basées sur le temps de fonctionnement normal des relais et coupe-circuits de protection.

Les performances de l'installation de mise à la terre doivent contribuer à assurer la compatibilité électromagnétique (CEM) de l'appareillage électrique et électronique du réseau haute tension conformément à la CEI/TR 61000-5-2.

10.2.3 Installations de mise à la terre haute et basse tension

Lorsque des installations de mise à la terre haute et basse tension existent à proximité l'une de l'autre et ne constituent pas une installation de mise à la terre globale, une partie de l'élévation du potentiel de terre (EPR) de l'installation haute tension peut s'appliquer à l'installation basse tension. Deux méthodes sont actuellement utilisées:

a) interconnexion de toutes les installations de mise à la terre haute tension avec les installations de mise à la terre basse tension;

b) séparation des installations de mise à la terre haute tension des installations de mise à la terre basse tension.

Dans tous les cas, les exigences pertinentes concernant les potentiels de pas, de contact et de transfert spécifiées ci-dessous doivent être conformes pour l'intérieur d'un poste et une installation BT alimentée par celui-ci.

NOTE Lorsque la pratique le permet, une interconnexion est préférable.

10.2.3.1 Alimentation basse tension uniquement à l'intérieur de postes HT

Lorsque l'installation BT est entièrement confinée dans l'emprise du réseau de terre de l'installation HT, les deux installations de mise à la terre doivent être interconnectées, même s'il n'y a pas d'installation de mise à la terre globale.

10.2.3.2 Alimentation basse tension issue ou arrivant à des postes HT

La conformité totale est assurée si le réseau de mise à la terre de l'installation HT fait partie d'une installation de mise à la terre globale ou est connecté, dans un réseau équilibré, à un conducteur de neutre HT mis à la terre en des points multiples. En l'absence d'installation de mise à la terre globale, les exigences minimales du Tableau 5 doivent être utilisées pour identifier les situations où l'interconnexion des installations de mise à la terre de l'alimentation basse tension extérieure à l'installation haute tension est réalisable.

Si les installations de mise à la terre haute tension et basse tension sont séparées, la méthode consistant à séparer les prises de terre doit être choisie de façon à ce que l'installation basse tension ne fasse courir aucun risque aux personnes ou au matériel. Cela signifie que les potentiels de contact, de pas et de transfert et les contraintes de tension dans l'installation BT provoqués par un défaut haute tension se situent dans les limites appropriées.

10.2.3.3 BT à proximité de postes HT

Il convient d'accorder une attention toute particulière aux installations BT situées dans la zone d'influence de l'installation de mise à la terre des postes HT.

Pour les installations industrielles et commerciales, une installation de mise à la terre commune peut être utilisée. La proximité immédiate des matériels ne permet pas de séparer les installations de mise à la terre.

Tableau 5 – Exigences minimales pour l'interconnexion d'installations de mise à la terre basse et haute tension basées sur les limites d'EPR

Type d'installation BT [a,b]		Exigences EPR		
		Tension de contact	Tension de contrainte [c]	
			Durée de défaut $t_f \leq 5$ s	Durée de défaut $t_f > 5$ s
TT		Non applicable	EPR ≤ 1 200 V	EPR ≤ 250 V
TN		EPR ≤ $F \cdot U_{Tp}$ [d, e]	EPR ≤ 1 200 V	EPR ≤ 250 V
IT	Conducteur de terre de protection distribué	Conforme au réseau TN	EPR ≤ 1 200 V	EPR ≤ 250 V
	Conducteur de terre de protection non distribué	Non applicable	EPR ≤ 1 200 V	EPR ≤ 250 V

a Pour les définitions du type de réseaux basse tension, voir la CEI 60364-1.

b Pour les matériels de télécommunications, il convient d'utiliser les recommandations de l'UIT.

c La limite peut être augmentée si le matériel BT approprié est installé ou des différences de potentiel locales, basées sur des mesures ou des calculs, peuvent se substituer à l'EPR.

d Si le conducteur PEN ou neutre du réseau basse tension est connecté à la terre uniquement au niveau de l'installation de mise à la terre haute tension, la valeur de F doit être 1.

e U_{Tp} est issue de la Figure 12

NOTE La valeur typique de F est 2. Des valeurs plus élevées de F peuvent être appliquées lorsqu'il existe des connexions supplémentaires du conducteur PEN à la terre. Pour certaines structures de sol, la valeur de F peut aller jusqu'à 5. Cette règle doit être appliquée avec prudence pour des sols à fortes différences de résistivité, dont la couche supérieure présente une résistivité plus élevée. Dans ce cas, la tension de contact peut dépasser 50 % de l'EPR.

10.3 Conception des installations de mise à la terre

10.3.1 Généralités

La conception d'une installation de mise à la terre peut être effectuée comme suit:

a) recueil des données, par exemple, le courant de défaut à la terre, la durée du défaut et sa disposition;

b) conception initiale de l'installation de mise à la terre basée sur les exigences fonctionnelles;

c) déterminer si elle fait partie intégrante d'une installation de mise à la terre globale;

d) dans le cas contraire, déterminer les caractéristiques du sol, par exemple, la résistivité spécifique des couches géologiques;

e) déterminer le courant s'écoulant dans le sol par l'installation de mise à la terre, à partir du courant de défaut à la terre;

f) déterminer l'impédance globale de la terre à partir de la disposition, des caractéristiques du sol, des installations de mise à la terre parallèles;

g) déterminer l'élévation du potentiel de terre;

h) déterminer la tension de contact admissible;

i) si l'élévation du potentiel de terre est inférieure à la tension de contact admissible et si les exigences du Tableau 5 sont satisfaites, la conception est alors achevée;

j) dans le cas contraire, déterminer si les tensions de contact à l'intérieur et au voisinage de l'installation de mise à la terre sont inférieures aux limites tolérables;

k) déterminer si les potentiels transférés présentent un danger à l'intérieur ou à l'extérieur de l'installation d'énergie électrique; si oui, appliquer les mesures d'atténuation sur le site exposé;

l) déterminer si le matériel basse tension est exposé à une tension de contrainte excessive; si oui, appliquer les mesures d'atténuation, ce qui peut inclure la séparation des installations de mise à la terre haute et basse tension;

Une fois les critères ci-dessus satisfaits, la conception peut être affinée, si nécessaire, en répétant les étapes ci-dessus. Une conception détaillée est nécessaire pour s'assurer que toutes les parties conductrices accessibles sont reliées à la terre. Les parties conductrices extérieures doivent être reliées à la terre le cas échéant.

Le diagramme de ce processus de conception est indiqué à l'Annexe D.

La prise de terre structurelle doit être reliée à la partie conductrice accessible et faire partie intégrante de l'installation de mise à la terre. Si elle n'est pas reliée à la partie conductrice accessible, une vérification est nécessaire pour s'assurer que toutes les exigences de sécurité sont satisfaites.

Les structures métalliques ayant une protection cathodique peuvent être séparées de l'installation de mise à la terre. Des mesures de prévention, telles que l'étiquetage, doivent être mises en œuvre afin de s'assurer que de telles mesures, lorsqu'elles sont prises, ne soient annulées par des modifications ou des actions de maintenance.

10.3.2 Défauts du réseau électrique

L'objectif est de déterminer le scénario de défaut le plus défavorable pour chaque aspect pertinent des exigences fonctionnelles, car ceux-ci peuvent différer. Les types de défaut suivants doivent être examinés pour chaque niveau de tension présent dans l'installation:

a) trois phases à la terre;

b) deux phases à la terre;

c) une phase à la terre;

d) le cas échéant: entre phases via la terre (double défaut à la terre).

Les défauts à l'intérieur et à l'extérieur du site d'installation doivent être étudiés pour déterminer l'emplacement du défaut le plus contraignant.

10.3.3 Foudre et transitoires

La foudre et les manœuvres de commutation sont des sources de courants et de tensions à haute et à basse fréquence. Des surtensions se produisent en général lors de la commutation de longues sections de câble, de l'actionnement de sectionneurs GIS ou de la commutation de condensateurs dos à dos. Une bonne atténuation nécessite d'une part une densité d'électrodes suffisante aux points d'injection, pour prendre en compte les courants haute fréquence, et d'autre part une installation de mise à la terre suffisamment étendue pour prendre en compte les courants basse fréquence. L'installation de mise à la terre haute tension doit faire partie intégrante du système de protection contre la foudre, et des conducteurs de mise à la terre supplémentaires peuvent être nécessaires aux points d'injection.

Les normes appropriées relatives à la compatibilité électromagnétique et à la foudre doivent être utilisées pour prendre en compte les aspects spécifiques liés à la tenue aux transitoires de l'installation de mise à la terre et de ses composants.

Lorsqu'une installation industrielle ou commerciale comporte plusieurs bâtiments ou emplacements, toutes les installations de mise à la terre doivent être interconnectées. Dans la mesure où, lors de surtensions telles que les coups de foudre, une grande différence de potentiel apparaît entre les installations de mise à la terre de chaque bâtiment et emplacement malgré l'interconnexion, des mesures doivent être prises pour éviter tout dommage au matériel

sensible connecté entre les différents bâtiments et emplacements. Il convient, dans toute la mesure du possible, d'utiliser des supports non métalliques, tels que des câbles à fibres optiques, pour l'échange de signaux bas niveau entre de tels emplacements.

10.4 Construction des installations de mise à la terre

Lorsque des travaux de construction impliquent une installation de mise à la terre existante, des mesures de protection doivent être prises pour assurer la sécurité des personnes en cas de défaut.

10.5 Mesures

Des mesures doivent être effectuées après la construction, si nécessaire, pour vérifier l'adéquation de la conception. Les mesures peuvent porter sur l'impédance de l'installation de mise à la terre, les tensions de contact et de pas présumées en différents points, et le potentiel de transfert le cas échéant. Lors de la mesure des tensions de contact et de pas dans des conditions d'essai, par exemple, essai par injection de courant, deux choix sont possibles. Mesurer les tensions de contact et de pas présumées au moyen d'un voltmètre à haute impédance, ou mesurer les tensions de contact et de pas effectives aux bornes d'une résistance appropriée représentant le corps humain.

10.6 Maintenabilité

10.6.1 Contrôles

La construction de l'installation de mise à la terre doit être effectuée de telle sorte que son état puisse être examiné lors des inspections périodiques. Des excavations pratiquées en des points représentatifs et le contrôle visuel représentent des moyens appropriés qui doivent être pris en considération.

10.6.2 Mesures

La conception et la mise en œuvre de l'installation de mise à la terre doivent permettre d'effectuer des mesures périodiques ou après des modifications importantes affectant les exigences fondamentales, ou même lors des essais de continuité.

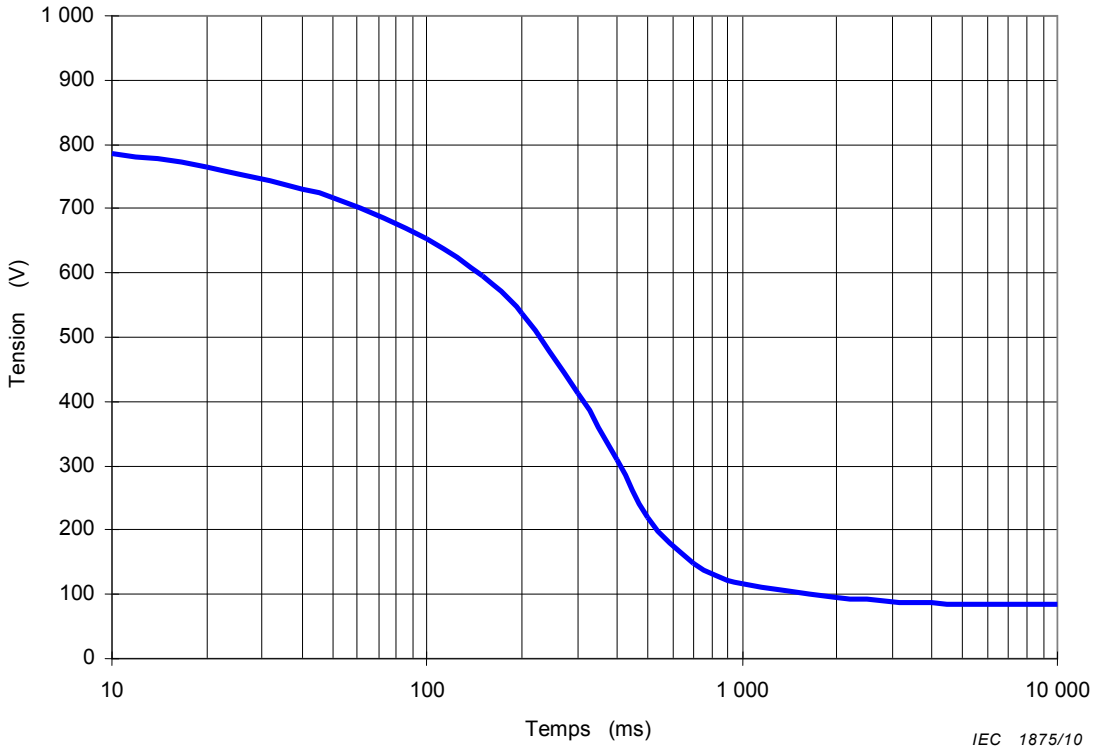


Figure 12 – Tension de contact admissible U_{Tp}

11 Contrôle et essais

11.1 Généralités

Des contrôles et essais doivent être effectués pour vérifier la conformité de l'installation avec la présente norme et la conformité du matériel avec les spécifications techniques applicables.

Les éléments suivants doivent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur:

– l'étendue du contrôle et des essais;
– les spécifications applicables;
– l'étendue et le type de documentation fournie.

NOTE Les essais spécifiques sur site pour les matériels fabriqués en usine et soumis à des essais de type et pour les ensembles fabriqués en usine sont indiqués et basés sur les normes de la CEI.

La vérification peut être effectuée par les méthodes suivantes:

a) contrôles visuels;
b) essais de fonctionnement;
c) mesurage.

Les contrôles et essais des parties des installations électriques peuvent être effectués après la livraison ainsi que lorsque l'installation est terminée.

Les activités typiques généralement effectuées sont, par exemple:

- la vérification des caractéristiques du matériel (y compris les valeurs assignées) pour les conditions d'exploitation données;
- la vérification des espaces libres minimaux entre les parties actives et entre ces dernières et la terre;
- l'essai de tension à fréquence industrielle pour les appareillages;
- l'essai de tension pour les câbles;
- la vérification des hauteurs minimales et des distances aux barrières de protection;
- les contrôles visuels et/ou essais de fonctionnement des matériels électriques et des parties de l'installation;
- les essais de fonctionnement et/ou la mesure des dispositifs de protection, de surveillance, de mesure et de commande;
- le contrôle des marquages, panneaux de sécurité et dispositifs de sécurité;
- la vérification du classement correct de résistance au feu des bâtiments/enceintes;
- la vérification du caractère opérationnel des issues de secours;
- la vérification de l'installation de mise à la terre.

11.2 Vérification des performances spécifiées

Des essais sont généralement effectués sur les divers équipements d'une installation aux stades appropriés du contrat afin de vérifier une dernière fois les performances de l'installation. Les essais exigés, leurs conditions et leur organisation sont à définir. Cela peut comprendre la définition de prestation de services sur site, du personnel, etc.

11.3 Essais lors de l'installation et de la mise en service

L'utilisateur et le fournisseur doivent définir ensemble les exigences (méthodes et critères d'acceptation) pour les essais lors de l'installation et de la mise en service, en donnant une liste des normes d'essai à appliquer. Cela peut inclure des essais de fonctionnement destinés à démontrer la capacité du matériel à satisfaire aux exigences d'exploitation, telles que le démarrage et l'arrêt automatiques.

Il convient que le matériel d'essai utilisé pour démontrer la satisfaction aux exigences de conception fasse l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur.

L'utilisateur et le fournisseur doivent convenir d'un programme d'essais pour les composants et systèmes lors des périodes d'installation et de mise en service. Il convient que les services nécessaires pour permettre la réalisation des essais fassent l'objet d'un accord entre les parties.

NOTE Il convient de mentionner dans l'enquête les conséquences contractuelles des résultats d'essais lors de l'installation et de la mise en service, le cas échéant.

11.4 Essai de mise en exploitation

Un essai de mise en exploitation doit être effectué sur accord entre l'utilisateur et le fournisseur. L'objet de cet essai est de démontrer l'aptitude fonctionnelle de l'installation haute tension. Par conséquent, lors de l'essai, il convient que tous les composants significatifs fonctionnent.

Il convient que l'accord définisse les conditions de panne d'un composant significatif entraînant un arrêt de l'essai. L'utilisateur peut également spécifier des critères exceptionnels de panne de très courte durée, par exemple, en étendant simplement la période d'essai par le temps de non fonctionnement.

Il convient de définir dans l'enquête les conditions devant être satisfaites pour un essai de mise en exploitation satisfaisant.

NOTE Il convient de mentionner dans l'enquête les conséquences contractuelles des résultats de l'essai de mise en exploitation le cas échéant.

12 Manuel de fonctionnement et de maintenance

Il convient que chaque installation soit accompagnée d'un manuel de fonctionnement décrivant les conditions normales de fonctionnement, les conditions de fonctionnement d'urgence et les procédures de maintenance, ainsi que les instructions de sécurité pour le fonctionnement de l'installation électrique haute tension.

Pour la préparation des manuels et des instructions, la CEI 82079-1 s'applique.

Il convient que chaque installation dispose d'un ensemble de plans et schémas de fonctionnement actualisés dans les locaux. Il convient que ces plans et schémas permettent au personnel d'exploitation et de maintenance d'effectuer des interventions sur l'installation efficacement et en toute sécurité.

Il convient que les fabricants des principaux composants d'une installation fournissent des manuels de fonctionnement et de maintenance, ainsi que des rapports d'essai et d'exploitation. Il convient que ces documents soient disponibles immédiatement si nécessaire.

Il convient que l'itinéraire d'urgence vers l'hôpital le plus proche, ainsi que les numéros de téléphone d'urgence soient affichés en un emplacement visible sur l'installation.

Annexe A
(normative)

Valeurs des niveaux d'isolement assignés et des distances minimales fondées sur les pratiques courantes dans certains pays

Tableau A.1 – Valeurs des niveaux d'isolement assignés et distances minimales dans l'air pour 1 kV < U_m ≤ 245 kV pour la tension la plus élevée pour l'installation U_m non normalisées par la CEI, sur la base des pratiques courantes dans certains pays

Plage de tensions	Tension la plus élevée pour l'installation	Tension assignée de tenue aux fréquences industrielles de courte durée	Tension assignée de tenue au choc de foudre [a]	Distance minimale phase-terre et entre phases *N*	
	U_m **eff.**	U_d **eff.**	U_p **1,2/50 µs** valeur de crête	**Installations intérieures**	**Installations extérieures**
	kV	kV	kV	mm	mm
I	2,75	15	30	60	120
			45	70	120
			60	90	120
	4,76	19	60	90	120
	5,5	19	45	70	120
			60	90	120
			75	120	120
	8,25	27	60	90	120
			75	120	150
			95	160	160
	8,25	26	75	120	150
		35	95	160	160
	15	35	95	160	160
		50	110	180	180
	15,5	35	75	120	150
			85	150	160
			110	180	180
	17,5	38	110	180	
			125	220	
	24	50	150	280	
	25	50	95	190	290
			125	210	
			150		
	25,8	50	125	220	
		70	150	280	
	27	50	95	160	
			125	220	
			150	280	

[a] La tension assignée de tenue au choc est applicable entre phases et entre phase et terre.

Tableau A.2 – Valeurs des niveaux d'isolement assignés et distances minimales dans l'air pour 1 kV < U_m ≤ 245 kV pour la tension la plus élevée pour l'installation U_m non normalisées par la CEI, sur la base des pratiques courantes dans certains pays

Page de tensions	Tension la plus élevée pour l'installation	Tension assignée de tenue aux fréquences industrielles de courte durée	Tension assignée de tenue au choc de foudre [a]	Distance minimale phase-terre et entre phases *N*	
	U_m **eff.**	U_d **eff.**	U_p **1,2/50 µs** valeur de crête	**Installations intérieures**	**Installations extérieures**
	kV	kV	kV	mm	mm
I	30	70	160	290	
	36	70	200	380	
	38	70	125	220	
			150	280	
			200	360	
	38	70	150	280	
		95	200	360	
	38,5	75	155	270	400
			180	320	
			195		
	40,5	80	190	350	
	41,5	80	170	320	
			200	360	
	48,3	105	150	280	
			200	360	
			250	480	
	48,3	120	250	480	
	72,5	160	350	690	
	82,5	150	380	750	
	100	150	380	750	
		185	450	900	
	204	275	650	1 300	
		325	750	1 500	

[a] La tension assignée de tenue au choc est applicable entre phases et entre phase et terre.

Tableau A.3 – Valeurs des niveaux d'isolement assignés et distances minimales dans l'air pour U_m > 245 kV pour les tensions les plus élevées pour l'installation U_m non normalisées par la CEI, sur la base des pratiques courantes dans certains pays

Plage de tensions	Tension la plus élevée pour l'installa-tion	Tension assignée de tenue aux fréquen-ces indus-trielles de courte durée	Tension assignée de tenue au choc de foudre [a]	Tension assignée de tenue aux surtensions de manœuvre	Distance minimale phase-terre		Tension assignée de tenue aux surten-sions de manœuvre	Distance minimale phase-terre	
	U_m **eff.**	U_d **eff.**	U_p **1,2/50 µs** valeur de crête	U_p **Phase-terre** **250/ 2 500 µs** valeur de crête	**Structure à conduc-teur**	**Struc-ture à tige** N	U_p **Entre phases** **250/ 2 500 µs** valeur de crête	**Conduc-teur à conduc-teur en parallèle**	**Conduc-teur à tige**
	kV	kV	kV	kV	mm		kV	mm	
II	362	520	1 300	950	2 400	2 900	1 425	3 100	3 600
	550	680	1 800	1 175		4 000			6 500
	550	710	1 800	1 175	3 300	4 100	2 210	6 100	7 400
	550	775	1 800	1 175	3 350	3 650		4 600	5 200
	550	635	1 300 1 425 1 550 1 800			5 800			5 800

[a] La tension assignée de tenue au choc est applicable entre phases et entre phase et terre.

Annexe B
(normative)

Méthode de calcul des tensions de contact admissibles

Formule:

$$U_{Tp} = I_B(t_f) \cdot \frac{1}{HF} \cdot Z_T(U_T) \cdot BF$$

Facteurs:

Tension de contact	U_T	
Tension de contact admissible	U_{Tp}	
Durée de défaut	t_f	
Limite de courant traversant le corps humain	$I_B(t_f)$	c2 à la Figure 20 et dans le Tableau 11 de la CEI/TS 60479-1:2005, lorsque la probabilité de fibrillation ventriculaire est inférieure à 5 %. I_B dépend de la durée de défaut.
Facteur du courant de cœur	HF	Tableau 12 de la CEI/TS 60479-1:2005, c'est-à-dire 1,0 de la main gauche aux pieds, 0,8 de la main droite aux pieds, 0,4 d'une main à l'autre
Impédance du corps	$Z_T(U_T)$	Tableau 1 et Figure 3 de la CEI/TS 60479-1:2005. Z_T pour 50 % de la population Z_T dépend de la tension de contact. Par conséquent, le premier calcul doit commencer avec un niveau supposé
Facteur du corps	BF	Figure 3 de la CEI/TS 60479-1:2005, c'est-à-dire 0,75 de la main jusqu'aux deux pieds, 0,5 des deux mains aux deux pieds

NOTE 1 Des conditions différentes de tension de contact, par exemple, main gauche-pieds ou main-main, conduisent à des tensions de contact différentes. La Figure 4 de la présente norme est basée sur une moyenne pondérée prise à partir de quatre configurations différentes de tension de contact. Tension de contact main gauche-pieds (poids 1,0), tension de contact main droite-pieds (poids 1,0), tension de contact deux mains-deux pieds (poids 1,0) et tension de contact main-main (poids 0,7).

NOTE 2 Différentes valeurs de paramètres sont applicables dans certains pays (comme indiqué dans l'Avant-propos).

Pour la prise en compte spécifique des résistances additionnelles, la formule permettant de déterminer la tension de contact admissible présumée devient:

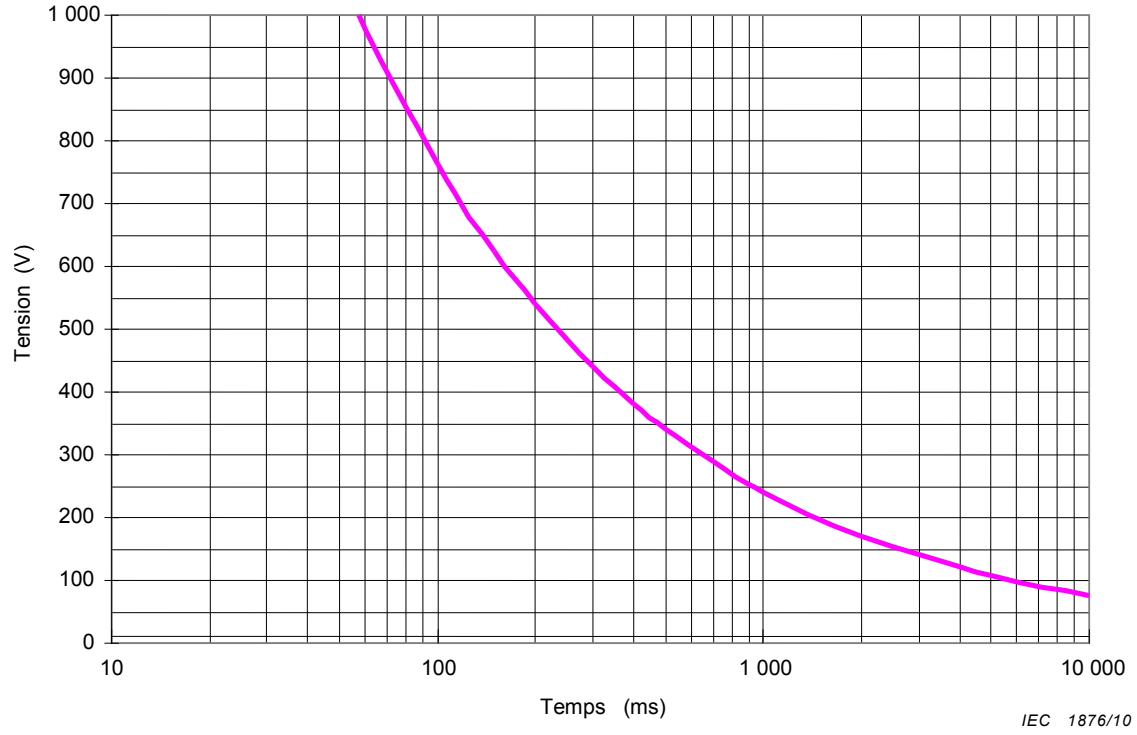
$$U_{vTp} = I_B(t_f) \cdot \frac{1}{HF} \cdot \left(Z_T(U_T) \cdot BF + R_H + R_F\right)$$

Facteurs supplémentaires:

Tension de contact admissible présumée	U_{vTp}
Résistance additionnelle pour la main	R_H
Résistance additionnelle pour le pied	R_F

Annexe C
(normative)

Tension de contact admissible conformément à l'IEEE 80



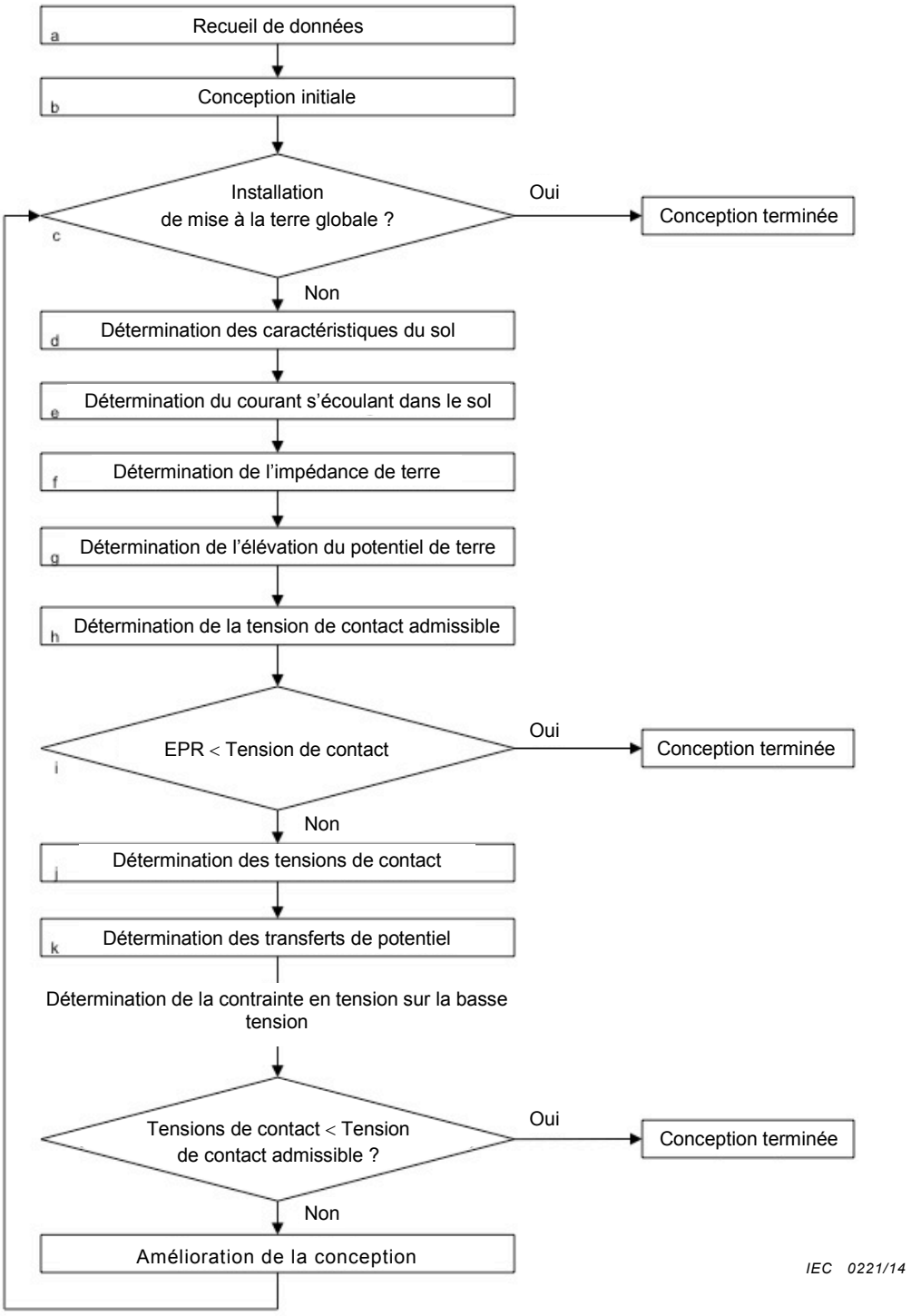
NOTE 1 La courbe de tensions de contact est basée sur une résistivité du sol spécifique de 100 Ωm et une couche de surface de 0,1 m avec une résistivité spécifique de 1 000 Ωm.

NOTE 2 La Figure C.1 donne l'exemple d'une personne d'un poids de 50 Kg et une surface en gravier.

Figure C.1 – Tension de contact admissible U_{Tp} conformément à l'IEEE 80

Annexe D
(normative)

Diagramme de conception d'une installation de mise à la terre



Annexe E
(informative)

Méthodes de protection contre les coups de foudre directs

E.1 Généralités

Depuis plusieurs années, les essais sur maquettes, les mesures, les observations et l'expérience ont montré que les coups de foudre directs peuvent être évités avec une grande fiabilité en utilisant les agencements de conducteurs ou de tiges de paratonnerres suivants. Les zones de protection montrées aux Figures E.1 à E.4 sont adaptées pour les installations d'une hauteur maximale, H, de 25 m. Pour les hauteurs supérieures à 25 m, la zone de protection est réduite.

NOTE La hauteur de 25 m correspond à la structure d'un réseau de 420 kV.

La méthode suivante fournit un niveau de protection suffisant sans études détaillées de la coordination d'isolement.

E.2 Câbles de garde

Un simple câble de garde fournit une zone de protection en forme de tente, dont les limites sont déterminées par des arcs de rayon 2 H commençant au pic du câble de garde (voir Figure E.1) et suivant la longueur du câble.

Deux câbles de garde séparés d'une distance inférieure ou égale à 2 H fournissent une zone de protection étendue limitée par les deux conducteurs, un arc de rayon R et de centre M_R à une hauteur 2 H (voir Figure E.2).

Cette zone est continue tout le long des conducteurs.

E.3 Paratonnerres

Les traceurs ascendants sont développées plus tôt à partir des paratonnerres qu'à partir des câbles de garde.

La zone de protection d'un paratonnerre est généralement plus étendue que celle d'un câble écran, à hauteur d'installation égale.

Un simple paratonnerre fournit une zone de protection en forme de cône dont les limites sont un arc de rayon 3 H passant par la pointe du paratonnerre (voir Figure E.3).

Deux paratonnerres séparés d'une distance inférieure ou égale à 3 H fournissent une zone de protection étendue limitée par un arc de rayon R et de centre M_R à une hauteur 3 H passant par la pointe des paratonnerres (voir Figure E.4).

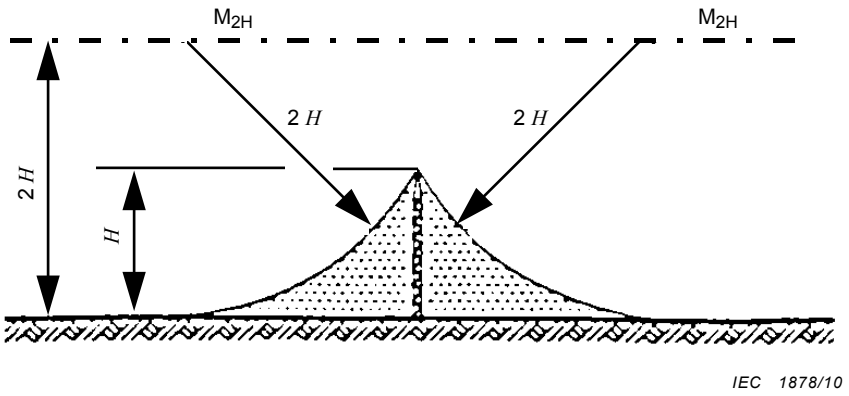


Figure E.1 – Câble de garde simple

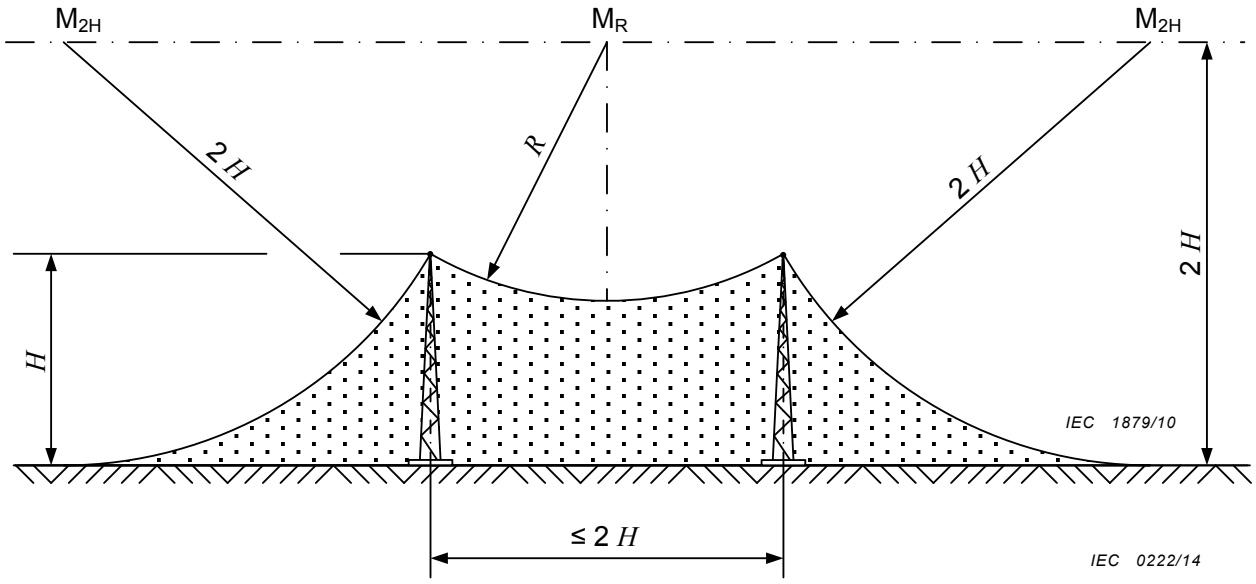


Figure E.2 – Deux câbles de garde simple

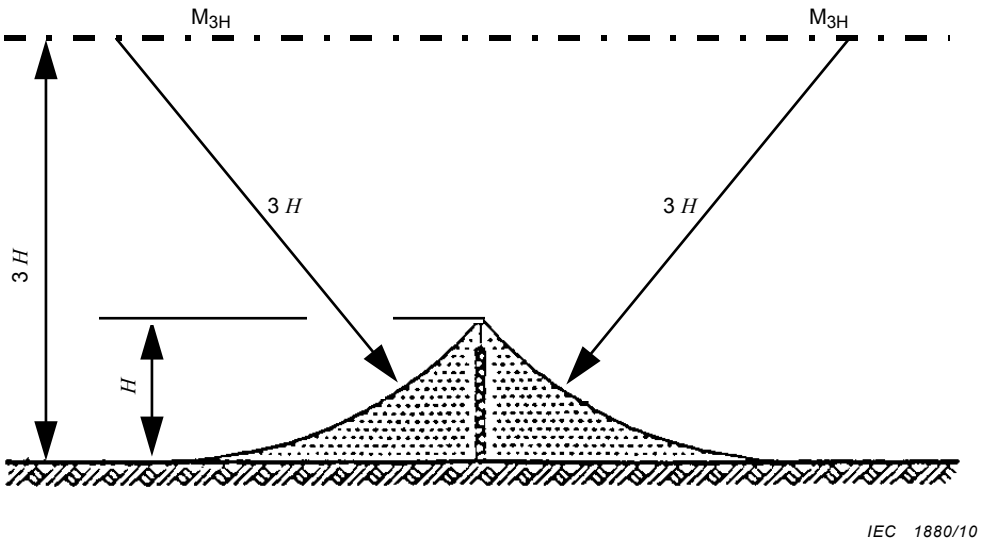


Figure E.3 – Paratonnerre seul

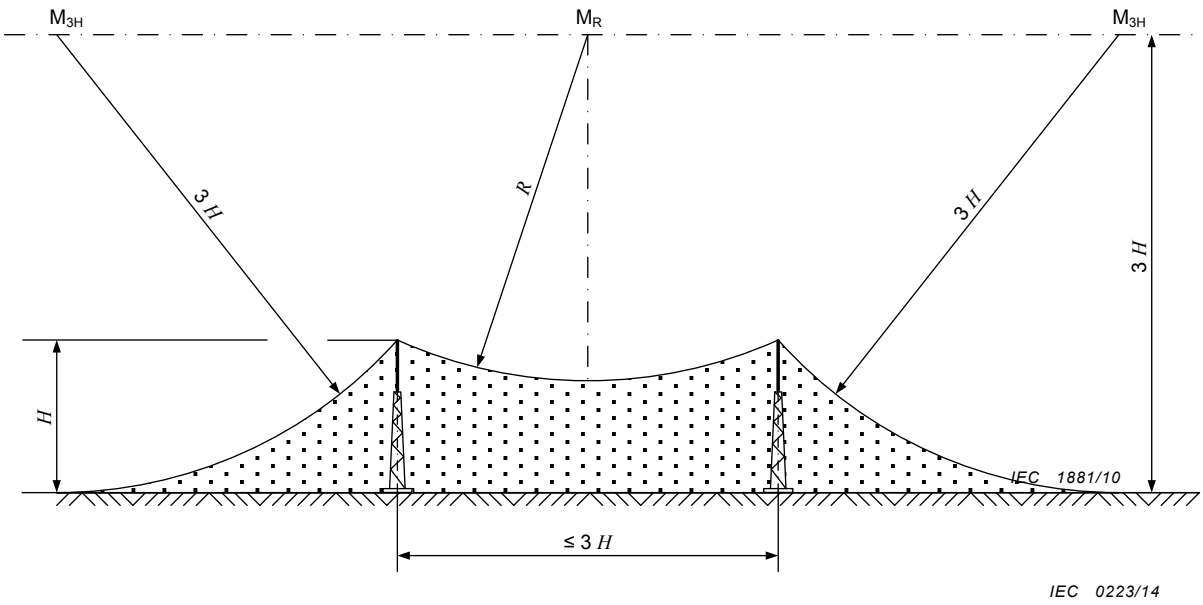


Figure E.4 – Deux paratonnerres

Bibliographie

[1] CISPR 18-1, *Caractéristiques des lignes et des équipements à haute tension relatives aux perturbations radioélectriques – Première partie: Description des phénomènes*

[2] CISPR 18-2, *Caractéristiques des lignes et des équipements à haute tension relatives aux perturbations radioélectriques – Deuxième partie: Méthodes de mesure et procédure d'établissement des limites*

[3] CISPR 18-3, *Caractéristiques des lignes et des équipements à haute tension relatives aux perturbations radioélectriques – Troisième partie: Code pratique de réduction du bruit radioélectrique*

[4] CEI 60038, *Tensions normales de la CEI*

[5] CEI 60044-6, *Transformateurs de mesure – Partie 6: Prescriptions concernant les transformateurs de courant pour protection pour la réponse en régime transitoire*

[6] CEI 60050-151, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

[7] CEI 60050-195, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 195: Mise à la terre et protection contre les chocs électriques*

[8] CEI 60050-411, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 411: Machines tournantes*

[9] CEI 60050-441, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 441: Appareillage et fusibles*

[10] CEI 60050-601, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 601: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Généralités*

[11] CEI 60050-602, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 602: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Production*

[12] CEI 60050-604, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 604: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Exploitation*

[13] CEI 60050-605, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 605: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Postes*

[14] CEI 60050-651, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 651: Travail sous tension*

[15] CEI 60050-826, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 826: Installations électriques*

[16] CEI 60068 (toutes les parties), *Essais d'environnement*

[17] CEI 60364-4-41, *Installations électriques à basse tension – Partie 4-41: Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les chocs électriques*

[18] CEI 60480, *Lignes directrices relatives au contrôle et au traitement de l'hexafluorure de soufre (SF_6) prélevé sur le matériel électrique et spécification en vue de sa réutilisation*

[19] CEI 60664-1, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*

[20] CEI 60721-2-2, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2-2: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Précipitations et vent*

[21] CEI 60721-2-3, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2-3: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Pression atmosphérique*

[22] CEI 60721-2-4, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2-4: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Rayonnement solaire et température*

[23] CEI 62271-100, *Appareillage à haute tension – Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif*

[24] CEI 62271-102, *Appareillage à haute tension – Partie 102: Sectionneurs et sectionneurs de terre à courant alternatif*

[25] CEI 62271-103, *Appareillage à haute tension – Partie 103: Sectionneurs pour les tensions assignées supérieures ou égales à 52 kV*

[26] CEI 62271-104, *Appareillage à haute tension – Partie 104: Sectionneurs pour les tensions assignées de 52 kV et plus*

[27] CEI 62271-105, *Appareillage à haute tension – Partie 105: Combinés interrupteurs-fusibles pour courant alternatif*

[28] IEEE Guide 998:1996, IEEE Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations

[29] CIGRE Report 23-04:1972, Handling of SF_6 and its decomposition products in gas insulated switchgear

[30] CIGRE Report 23-07:1991, Adaptation of substations to their environment both in urban and rural areas, including noise problems and oil pollution of subsoil

[31] CIGRE Guide No. 234: August 2003, SF6 Recycling Guide (Revision 2003)

[32] CIGRE Guide No. 276: August 2005, Guide for the preparation of customized 'Practical SF6 Handling Instructions'

[33] Factory Mutual Global Standard 3990, 06/1997: Approval standard for Less or Nonflammable Liquid Insulated Transformers

[34] CEI 60092 (toutes les parties), Installations électriques à bord des navires

[35] IEC 61892 (toutes les parties), Mobile and fixed offshore units – Electrical installations (disponibles en anglais seulement)

[36] EN 13501-1, Classement au feu des produits et éléments de construction – Partie 1: Classement à partir des données d'essais de réaction au feu

[37] EN 13501-2, Classement au feu des produits et éléments de construction – Partie 2: Classement à partir des données d'essais de résistance au feu à l'exclusion des produits utilisés dans les systèmes de ventilation

_____

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch