

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**High-voltage switchgear and controlgear –
Part 204: Rigid gas-insulated transmission lines for rated voltage above 52 kV**

**Appareillage à haute tension –
Partie 204: Lignes de transport rigides à isolation gazeuse de tension assignée
supérieure à 52 kV**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: 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.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



IEC 62271-204

Edition 1.0 2011-07

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**High-voltage switchgear and controlgear –
Part 204: Rigid gas-insulated transmission lines for rated voltage above 52 kV**

**Appareillage à haute tension –
Partie 204: Lignes de transport rigides à isolation gazeuse de tension assignée
supérieure à 52 kV**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XA

ICS 29.130.10

ISBN 978-2-88912-604-0

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 General	7
1.1 Scope.....	7
1.2 Normative references	7
2 Normal and special service conditions.....	8
2.101 Installation in open air	8
2.102 Buried installation	9
2.103 Installation in tunnel, shaft or similar situation	9
3 Terms and definitions	9
4 Ratings.....	11
4.1 Rated voltage (U_r)	11
4.2 Rated insulation level.....	11
4.3 Rated frequency (f_r).....	11
4.4 Rated normal current and temperature rise	11
4.5 Rated short-time withstand current (I_k)	12
4.6 Rated peak withstand current (I_p)	12
4.7 Rated duration of short circuit (t_k).....	12
4.8 Rated supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits (U_a)	12
4.9 Rated supply frequency of closing and opening devices and of auxiliary circuits	12
4.10 Rated pressure of compressed gas supply for controlled pressure systems	13
4.11 Rated filling levels for insulation and/or operation.....	13
5 Design and construction.....	13
5.1 Requirements for liquids in GIL	13
5.2 Requirements for gases in GIL.....	13
5.3 Earthing.....	13
5.4 Auxiliary and control equipment	14
5.5 Dependent power operation	14
5.6 Stored energy operation.....	14
5.7 Independent manual or power operation (independent unlatched operation)	14
5.8 Operation of releases	14
5.9 Low- and high-pressure interlocking and monitoring devices	14
5.10 Nameplates	15
5.11 Interlocking devices	15
5.12 Position indication.....	16
5.13 Degree of protection provided by enclosures	16
5.14 Creepage distances for outdoor insulators	16
5.15 Gas and vacuum tightness.....	16
5.16 Liquid tightness	17
5.17 Fire hazard (flammability)	17
5.18 Electromagnetic compatibility (EMC).....	17
5.19 X-ray emission.....	17
5.20 Corrosion	17
5.101 Internal fault	18
5.102 Enclosures.....	19

5.103	Partitions and partitioning	20
5.104	Sections of a GIL system	21
5.105	Pressure relief	21
5.106	Compensation of thermal expansion.....	22
5.107	External vibration	22
5.108	Supporting structures for non-buried GIL	22
6	Type tests.....	23
6.1	General	23
6.2	Dielectric tests	24
6.3	Radio interference voltage (r.i.v.) test	26
6.4	Measurement of the resistance of circuits	26
6.5	Temperature-rise tests.....	26
6.6	Short-time withstand current and peak withstand current tests.....	26
6.7	Verification of the protection	27
6.8	Tightness tests	27
6.9	Electromagnetic compatibility tests (EMC).....	28
6.10	Additional test on auxiliary and control circuits	28
6.11	X-radiation test procedure for vacuum interrupters	28
6.101	Proof tests for enclosures	28
6.102	Destructive pressure tests.....	28
6.103	Anti-corrosion tests for buried installation	28
6.104	Special mechanical test on sliding contacts	29
6.105	Test under conditions of arcing due to internal fault.....	30
6.106	Weatherproofing test.....	31
7	Routine tests	31
7.1	Dielectric tests on the main circuits	31
7.2	Dielectric tests on auxiliary and control circuits	31
7.3	Measurement of the resistance of the main circuit.....	31
7.4	Tightness test.....	31
7.5	Design and visual checks.....	31
7.101	Partial discharge measurement.....	31
7.102	Pressure tests of factory made enclosures	32
8	Guide to the selection of GIL.....	32
8.101	Short time overload capability	32
8.102	Forced cooling	32
9	Information to be given with enquiries, tenders and orders	32
9.101	Information with enquiries and orders.....	32
9.102	Information with tenders and contract documentation	34
10	Transport, storage, installation, operation and maintenance	35
10.1	Conditions during transport, storage and installation	35
10.2	Installation.....	35
10.3	Operation	36
10.4	Maintenance	40
11	Safety.....	40
11.1	Precautions by manufacturers.....	41
11.2	Precautions by users	41
11.3	Electrical aspects	41

11.4 Mechanical aspects	41
11.5 Thermal aspects	41
11.101 Maintenance aspects	41
12 Influence of the product on the environment	42
Annex A (informative) Estimation of continuous current	43
Annex B (informative) Earthing	48
Annex C (normative) Long-term testing of buried installations	52
Bibliography	54
Figure B.1 – Example of earthing system together with active anti-corrosion system in the case of solid bonding of the enclosure at both ends	51
Table 1 – Second characteristic numeral of IP coding	16

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

**Part 204: Rigid gas-insulated transmission lines
for rated voltage above 52 kV**

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.

International Standard IEC 62271-204 has been prepared by subcommittee 17C: High-voltage switchgear and controlgear assemblies, of IEC technical committee 17: Switchgear and controlgear.

This standard cancels and replaces IEC/TS 61640:1998. It is a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- update to be in line with IEC 62271-1:2007 and 62271-203 and alignment of the voltage ratings and the test voltages;
- addition of new information for gas tightness and corrosion protection.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
17C/510/FDIS	17C/520/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

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

This International Standard should be read in conjunction with IEC 62271-1:2007, to which it refers and which is applicable unless otherwise specified. In order to simplify the indication of corresponding requirements, the same numbering of clauses and subclauses is used as in IEC 62271-1. Amendments to these clauses and subclauses are given under the same numbering, whilst additional subclauses, are numbered from 101. It should also be read in conjunction with IEC 62271-203.¹

A list of all parts of the IEC 62271 series can be found, under the general title *High-voltage switchgear and controlgear*, on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication 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.

¹ To be published.

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 204: Rigid gas-insulated transmission lines for rated voltage above 52 kV

1 General

1.1 Scope

This part of IEC 62271 applies to rigid HV gas-insulated transmission lines (GIL) in which the insulation is obtained, at least partly, by a non-corrosive insulating gas, other than air at atmospheric pressure, for alternating current of rated voltages above 52 kV, and for service frequencies up to and including 60 Hz.

It is intended that this international standard be used where the provisions of IEC 62271-203 do not cover the application of GIL (see NOTE 3).

At each end of the HV gas-insulated transmission line, a specific element may be used for the connection between the HV gas-insulated transmission line and other equipment like bushings, power transformers or reactors, cable boxes, metal-enclosed surge arresters, voltage transformers or GIS, covered by their own specification.

Unless otherwise specified, the HV gas-insulated transmission line is designed to be used under normal service conditions.

NOTE 1 In this international standard, the term "HV gas-insulated transmission line" is abbreviated to "GIL".

NOTE 2 In this international standard, the word "gas" means gas or gas mixture, as defined by the manufacturer.

NOTE 3 Examples of GIL applications are given:

- where all or part of the HV gas-insulated transmission line is directly buried; or
- where the HV gas-insulated transmission line is located, wholly or partly, in an area accessible to public; or
- where the HV gas-insulated transmission line is long and the typical gas compartment length exceeds the common practice of GIS technology.

1.2 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 60050-151, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050-441:1984, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*

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

IEC 60068-1, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60229:2007, *Electric cables – Tests on extruded oversheaths with a special protective function*

IEC 60270, *High-voltage test techniques – Partial discharge measurements*

IEC 60287-3-1:1995, *Electric cables – Calculation of the current rating – Part 3-1: Sections on operating conditions – Reference operating conditions and selection of cable type*

IEC 60376, *Specification of technical grade sulfur hexafluoride (SF₆) for use in electrical equipment*

IEC 60480, *Guidelines for the checking and treatment of sulfur hexafluoride (SF₆) taken from electrical equipment and specification or its re-use*

IEC 60529:1989, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

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

IEC 62271-203:2011, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 203: Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV²*

IEC 62271-303, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 303: Use and handling of sulphur hexafluoride (SF₆)*

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

2 Normal and special service conditions

Clause 2 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition:

At any altitude the dielectric characteristics of the internal insulation are identical with those measured at sea-level. For this insulation, therefore, no requirements concerning the altitude are applicable.

The normal service conditions which apply to a GIL depending on the installation conditions are given in 2.101, 2.102 and 2.103. When more than one of these installation conditions apply, the relevant subclause shall apply to each section of the GIL.

2.101 Installation in open air

For determining the ratings of GIL for open air installation, the normal service conditions of IEC 62271-1 shall apply. Typical rating conditions are also valid for open trenches.

If the actual service conditions differ from the normal service conditions, the ratings shall be adapted accordingly.

Unless otherwise specified by the user, the special service conditions given in the IEC 62271-1 shall apply.

² To be published.

2.102 Buried installation

Typical values for thermal resistivity and soil temperature are:

- 1,2 K · m/W, and 20 °C in summer;
- 0,85 K · m/W, and 10 °C in winter.

For guidance, values given in IEC 60287-3-1 may be considered.

NOTE 1 For long distance transmission lines (several kilometres) site measurement of soil resistivity should also be considered.

NOTE 2 The use of controlled backfill with a given soil thermal resistivity may also be considered.

NOTE 3 A risk of thermal runaway exists if the soil surrounding the buried GIL becomes dry. In order not to dry out the soil, a maximum service temperature of the enclosure in the range of 50 °C to 60 °C is generally considered acceptable.

The depth of laying shall be agreed between manufacturer and user. The determination of depth of laying shall take into account thermo mechanical stresses, safety requirements and local regulations.

2.103 Installation in tunnel, shaft or similar situation

Forced cooling is an adequate method and used in case of tunnel, shaft or similar installations.

In the case of long vertical shafts and inclined tunnels or sections thereof, attention shall be paid to thermal and density gradients, especially if a gas mixture is used.

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-441, IEC 60050-151, IEC 62271-1, as well as the following apply.

3.101

area accessible to public

access not restricted to authorized personnel

NOTE A GIL installed above ground and outside a substation is considered to be "installed in an area accessible to public".

3.102

gas-insulated transmission lines

GIL

metal-enclosed lines in which the insulation is obtained, at least partly, by an insulating gas other than air at atmospheric pressure, with the external enclosure intended to be earthed

3.103

GIL enclosure

a part of gas-insulated line retaining the insulating gas under the prescribed conditions necessary to maintain safely the rated insulation level, protecting the equipment against external influences and providing a high degree of protection to personnel

3.104

compartment

part of gas-insulated line, totally enclosed except for openings necessary for interconnection and control

3.105

partition

part of gas-insulated line separating one compartment from other compartments

3.106

main circuit

all conductive parts of gas-insulated line included in a circuit which is intended to transmit electrical energy

[IEC 60050-441:1984, 441-13-02, modified]

3.107

ambient air temperature (of gas-insulated line)

temperature, determined under prescribed conditions, of the air surrounding the external GIL enclosure of gas-insulated line in case of installation in open air, open trenches or tunnels

[IEC 60050-441:1984, 441-11-13, modified]

3.108

design temperature (of the enclosure)

highest temperature which can be reached by the enclosure under service conditions

3.109

design pressure (of the enclosure)

relative pressure used to determine the design of the enclosure

NOTE It is at least equal to the maximum pressure in the enclosure at the highest temperature that the gas used for isolation can reach under specified maximum service conditions.

3.110

design pressure (of the partition)

pressure used to determine the design of the partition

3.111

disconnecting unit

unit to separate gas compartments mainly for site testing or maintenance

3.112

disruptive discharge

phenomena associated with the failure of insulation under electric stress, in which the discharge completely bridges the insulation under test, reducing the voltage between the electrodes to zero or almost zero

NOTE 1 The term applies to discharges in solid, liquid and gaseous dielectrics and to combinations of these.

NOTE 2 A disruptive discharge in a solid dielectric produces permanent loss of dielectric strength (non-self-restoring insulation); in a liquid or gaseous dielectric, the loss may be only temporary (self-restoring insulation).

NOTE 3 The term "sparkover" is used when a disruptive discharge occurs in a gaseous or liquid dielectric. The term "flashover" is used when a disruptive discharge occurs over the surface of a solid dielectric in a gaseous or liquid medium. The term "puncture" is used when a disruptive discharge occurs through a solid dielectric.

3.113

GIL section

a GIL section is defined by operational or other requirements such as maximum length for dielectric testing or installation sequence

NOTE 1 It may consist of one or more compartments.

NOTE 2 Sections may be segregated by disconnecting units.

4 Ratings

Clause 4 of IEC 62271-1 is not applicable, except as follows.

The rating of a GIL consists of the following:

- a) rated voltage (U_r) and number of phases;
- b) rated insulation level;
- c) rated frequency (f_r);
- d) rated normal current (I_r) (for main circuits);
- e) rated short-time withstand current (I_k) (for main and earthing circuits);
- f) rated peak withstand current (I_p) (for main and earthing circuits);
- g) rated duration of short-circuit (t_k);
- h) rated values of the components forming part of a GIL, including auxiliary equipment;
- i) rated filling pressure of insulating gas.

4.1 Rated voltage (U_r)

Subclause 4.1 of IEC 62271-203 is applicable.

4.2 Rated insulation level

Subclause 4.2 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition:

Rated insulation levels shall be chosen from IEC 62271-203 on the basis of insulation coordination study for the specific installation in order to consider parameters like overvoltages, voltage reflections, etc. Specific insulation coordination studies are recommended for each installation.

Although internal arcing faults can largely be avoided by the choice of a suitable insulation level, measures to limit external over-voltages at each end of the installation (e.g. surge arresters) should be considered.

4.3 Rated frequency (f_r)

Subclause 4.3 of IEC 62271-1 is applicable.

4.4 Rated normal current and temperature rise

4.4.1 Rated normal current (I_r)

Subclause 4.4.1 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition:

The rated normal current is defined for a single, three-phase circuit installed above ground with an ambient air temperature at 40 °C. For other installation conditions, see Annex A.

4.4.2 Temperature rise

Subclause 4.4.2 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition:

The temperature of the enclosure shall not exceed the maximum allowable temperature of the anti-corrosion coating if applicable.

The temperature rise of components contained in the GIL which are subject to standards not covered by the scope of IEC 62271-1 shall not exceed the temperature-rise limits permitted in the relevant standard for those components.

For open air, tunnel and shaft installations, the maximum temperature of the enclosure shall not exceed 80 °C. Parts normally touched during operation not to exceed 70 °C. Reference is made to Clause 11 of this standard.

For direct buried installation, the maximum temperature of the enclosure shall be limited to minimise soil drying. A temperature in the 50 °C and 60 °C range is generally considered applicable.

4.4.3 Particular points of Table 3

Subclause 4.4.3 of IEC 62271-1 is applicable.

4.4.101 Particular requirements for temperature rise

Where a non-oxidizing gas is used as the dielectric, the limits of the temperature and temperature rise shall be as specified for SF₆ in Table 3 of IEC 62271-1.

Where compressed air is used as the dielectric, the limits of the temperature and temperature rise shall be as specified for air in Table 3 of IEC 62271-1.

Where an oxidizing gas (other than air) is used as the dielectric, lower limits of temperature and temperature rise shall be agreed between manufacturer and user.

4.5 Rated short-time withstand current (I_k)

Subclause 4.5 of IEC 62271-1 is applicable, with the following addition.

In selecting a rated short-time withstand current for an installation, or part of an installation, consideration may be given to the fact that the maximum fault current in a circuit reduces as the distance from the substation increases.

4.6 Rated peak withstand current (I_p)

Subclause 4.6 of IEC 62271-1 is applicable.

4.7 Rated duration of short circuit (t_k)

Subclause 4.7 of IEC 62271-1 is applicable.

4.8 Rated supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits (U_a)

Subclause 4.8 of IEC 62271-1 is applicable.

4.9 Rated supply frequency of closing and opening devices and of auxiliary circuits

Subclause 4.9 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition:

The rated supply frequency of auxiliary circuits is the frequency at which the conditions of operation and temperature rise of these devices and circuits are determined.

4.10 Rated pressure of compressed gas supply for controlled pressure systems

Subclause 4.10 of IEC 62271-1 is not applicable.

4.11 Rated filling levels for insulation and/or operation

Subclause 4.11 of IEC 62271-1 is applicable.

5 Design and construction

Clause 5 of IEC 62271-1 is not applicable, except as follows.

Any component which requires routine preventive maintenance or diagnostic testing shall be easily accessible.

GIL shall be designed so that normal service, inspection and maintenance operations can be carried out safely, including the checking of phase sequence after erection and extension.

The equipment shall be designed such that the mechanical stress caused by all relevant loads, for example thermal expansion, agreed permitted movement of foundations, external vibration, earthquakes, soil loading, wind and ice do not impair the assigned performance of the equipment.

All components of the same rating and construction which may need to be replaced shall be interchangeable.

5.1 Requirements for liquids in GIL

Clause 5.1 of IEC 62271-1 is not applicable.

5.2 Requirements for gases in GIL

Subclause 5.2 of IEC 62271-1 is applicable.

In case a gas mixture is used, the manufacturer should provide information about the gas characteristics such as dielectric strength, mixing ratio, process of mixing and filling pressure.

NOTE See references [6], [7] and [8] in the Bibliography.

5.3 Earthing

Subclause 5.3 of IEC 62271-1 is applicable, except as follows.

5.3.101 Earthing of main circuits

To ensure safety during maintenance work all parts of the main circuits to which access is required or provided shall be capable of being earthed. In addition, it shall be possible, after the opening of the enclosure, to connect earth electrodes to the conductor for the duration of the work.

Earthing may be made by

- a) earthing switches with a making current capacity equal to the rated peak withstand current, if there is no certainty that the circuit connected is not live;
- b) earthing switches without a making current capacity or with a making capacity lower than the rated peak withstand current, if there is certainty that the circuit connected is not live;

c) removable earthing devices, only by agreement between manufacturer and user.

Each part being capable of being disconnected shall be capable of being earthed.

Consideration shall be given to the ability of the first operated earthing device to dissipate the maximum level of trapped charge on the isolated circuit.

Where the earthing switches form part of the plant connected to the transmission line, the user shall ensure that they comply with the above items a) to c).

5.3.102 Earthing of the enclosure

The enclosures shall be capable of being connected to earth. All metal parts intended to be earthed, which do not belong to a main or an auxiliary circuit, shall be connected to earth. For the interconnection of enclosures, frames, etc., fastening (e.g. bolting or welding) is generally acceptable for providing electrical continuity. If the fastening is done by bolting, provisions shall be given in order that a proper electrical contact is provided. If not, the mechanical joint shall be by-passed by a proper electrical connection such as copper or aluminium leads of proper cross section.

The continuity of the earthing circuits shall be ensured taking into account the thermal and electrical stresses caused by the current they may have to carry.

It is envisaged that most GIL installation will be solidly bonded and earthed at both ends. The particular design has an influence on heat dissipation, standing voltages and the external magnetic field. These are discussed in Annex B.

The design of the earthing of the enclosure shall be compatible with the measures for corrosion protection when the GIL is buried.

5.4 Auxiliary and control equipment

Subclause 5.4 of IEC 62271-1 is applicable.

5.5 Dependent power operation

Subclause 5.5 of IEC 62271-1 is not applicable.

5.6 Stored energy operation

Subclause 5.6 of IEC 62271-1 is not applicable.

5.7 Independent manual or power operation (independent unlatched operation)

Subclause 5.7 of IEC 62271-1 is not applicable.

5.8 Operation of releases

Subclause 5.8 of IEC 62271-1 is not applicable.

5.9 Low- and high-pressure interlocking and monitoring devices

Subclause 5.9 of IEC 62271-1 is applicable, except as follows.

Means shall be provided for monitoring gas pressure or gas density, taking into account the relevant IEC standards. It is recommended that signals be provided when the gas pressure for insulation has fallen to the alarm pressure for insulation and to the minimum functional

pressure for insulation, or risen to the maximum value in the case of controlled pressure system, as defined by the manufacturer.

5.10 Nameplates

Subclause 5.10 of IEC 62271-1 is not applicable.

5.10.101 Nameplates

For outdoor installation, the nameplates and their fixings shall be weather-proof and corrosion proof. Reference is made to IEC 62271-1 subclause 5.10.

A complete nameplate shall be provided at each end of the installation, and at each point where service is needed. These nameplates shall contain the following information:

- manufacturer's name or trade mark
- type designation or serial number
- rated voltage U_r
- rated lightning impulse withstand voltage³ U_p
- rated switching impulse withstand voltage⁴ U_s
- rated power-frequency withstand voltage⁴ U_d
- rated normal current I_r
- rated short-time withstand current I_k
- rated peak withstand current I_p
- rated frequency f_r
- rated duration of short circuit t_k
- rated filling pressure for insulation; minimum functional pressure for insulation; design pressure for enclosures
- type of gas
- mass of gas contained kg

NOTE The word "rated" need not appear on the nameplates.

5.10.102 Equipment identification

Since characteristics of different sections may be different, a marking shall be provided on the enclosure, or on the coating of the enclosure, if any. The maximum distance between two identification markings shall be agreed between manufacturer and user.

Markings shall be durable and clearly legible and shall contain the following information:

- manufacturer's name or trade mark;
- type designation;
- rated voltage;
- type of gas and rated filling pressure for insulation.

5.11 Interlocking devices

Subclause 5.11 of IEC 62271-1 is not applicable.

³ The values to be used for nameplates are phase-to-earth values.

5.12 Position indication

Subclause 5.12 of IEC 62271-1 is not applicable.

5.13 Degree of protection provided by enclosures

5.13.1 Protection of persons against access to hazardous parts and protection of the equipment against ingress of solid foreign objects (IP coding)

Subclause 5.13.1 of IEC 62271-1 is applicable with the following additions:

Protection means are applicable only for control and/or auxiliary circuits. The first characteristic numeral shall be 3 or higher.

5.13.2 Protection against ingress of water (IP coding)

For installations where the laying conditions impose a risk of ingress of water (buried installations, installations in trenches, ducts, etc.) the second characteristic numeral shall be specified. In this case the letter X in the second position of the designation in Table 7 of IEC 62271-1 is replaced by a numeral as shown in Table 1 below.

Table 1 – Second characteristic numeral of IP coding

Second characteristic numeral	Brief description	Definition
7	Protected against the effects of temporary immersion in water	Ingress of water causing harmful effects shall not be possible when the enclosure is temporarily immersed in water under standardized conditions of pressure and time
NOTE For more severe situations than those corresponding to the second characteristic numeral 7, the protection should be agreed between manufacturer and user.		

Equipment for outdoor installation, provided with additional features against rain and other weather conditions shall be specified by means of the supplementary letter W placed after the second characteristic numeral, or after the additional letter, if any.

5.13.101 Degree of protection for the main circuits

No specification applies to the main circuit and parts directly connected thereto, because of the gas tightness of the enclosure.

5.13.102 Degree of protection for auxiliary circuits

Degrees of protection according to IEC 60529 shall be specified for all enclosures of appropriate low-voltage control and/or auxiliary circuits.

The degrees of protection apply to the service conditions of the equipment.

5.14 Creepage distances for outdoor insulators

Subclause 5.14 of IEC 62271-1 is not applicable.

5.15 Gas and vacuum tightness

Subclause 5.15 of IEC 62271-1 is not applicable.

5.15.1 Controlled pressure systems for gas

Not applicable for GIL.

5.15.2 Closed pressure systems for gas

The tightness characteristic of a closed pressure system and the time between replenishment under normal service condition shall be stated by the manufacturer and shall be consistent with a minimum maintenance and inspection philosophy.

The tightness of closed pressure systems for gas is specified by the relative leakage rate F_{rel} of each compartment; standardized values are:

- for SF_6 and SF_6 mixtures, the standardized value is 0,5 % per year per compartment;
- for other gases, the standardized value is 0,5 % per year per compartment.

The value for the time between replenishment shall be at least 10 years for SF_6 systems and for other gases should be consistent with the tightness values. The possible leakages between subassemblies having different pressures shall also be taken into account. In the particular case of maintenance in a compartment when adjacent compartments contain gas under pressure, the permissible gas leakage rate across partitions should also be stated by the manufacturer, and the time between replenishments shall be not less than one month. Means shall be provided to enable gas systems to be safely replenished whilst the equipment is in service.

5.15.3 Sealed pressure systems

The tightness of sealed pressure systems is specified by their expected operating life. The expected operating life with regard to leakage performance shall be specified by the manufacturer. Preferred values are 20 years, 30 years and 40 years.

NOTE To fulfil the expected operating life requirement, the leakage rate for SF_6 systems is considered to be 0,1 % per year.

5.15.101 Internal partitions

If requested by the user, in order to permit maintenance in a compartment when adjacent compartments contain gas under pressure, the permissible gas leakage across partitions should also be stated by the manufacturer.

5.16 Liquid tightness

Subclause 5.16 of IEC 62271-1 is not applicable.

5.17 Fire hazard (flammability)

Subclause 5.17 of IEC 62271-1 is not applicable.

5.18 Electromagnetic compatibility (EMC)

Subclause 5.18 of IEC 62271-1 is not applicable.

5.19 X-ray emission

Subclause 5.19 of IEC 62271-1 is not applicable.

5.20 Corrosion

Subclause 5.20 of IEC 62271-1 is applicable, except as follows.

5.20.101 Corrosion protection for buried installations

Corrosion protection, both external coating and any active protection system, shall take into account special considerations such as: the location, the soil/backfill material and conditions, enclosure material and type of earthing adopted.

In general, the corrosion protection for GIL is similar to the protection means of normal pipeline or power cables. The enclosure is coated with rubber or plastic in one or more layers. The coating acts as a passive corrosion protection system by keeping humidity or water away from the metal enclosure of the electrical equipment.

In addition to the passive corrosion protection, an active system can be installed in case the passive system fails. The active corrosion protection system keeps the metal enclosure at a defined electrical potential, depending on the enclosure material (steel, aluminium). The soil condition around the GIL shall be taken into account for the design of the active corrosion protection system.

5.20.102 Corrosion protection for not buried installations

Subclause 5.20 of IEC 62271-1 is applicable.

5.101 Internal fault

5.101.1 General

A fault leading to arcing within GIL built according to this international standard has a low order of probability. This results from the use of an insulating gas, other than air at atmospheric pressure, which will not be affected by pollution, humidity or vermin.

Examples of measures to avoid arcing due to an internal fault and to limit duration and consequences are:

- insulation coordination;
- gas-leakage limitation and control;
- high-speed protection;
- high-speed arc short-circuiting devices;
- interlocking of switching devices;
- remote control;
- internal and/or external pressure reliefs;
- checking of workmanship on site.

Arrangements should also be made to minimize the effects of internal faults leading to arcing on the continued service capability of the gas-insulated line. The effect of an arc should be confined to the compartment in which the arc has been initiated.

If, in spite of the measures taken, a test is agreed between manufacturer and user to verify the effect of arcing due to an internal fault, this test should be in accordance with 6.105.

Tests would normally not be necessary in the case of single-phase, enclosed GIL installed in isolated neutral or resonant earthed systems and equipped with a protection to limit the duration of internal earth faults.

NOTE In resonant earthed or isolated neutral systems, protection to limit the duration of an internal fault is strongly recommended.

5.101.2 External effects of the arc

Adequate installation precautions shall be taken in order to reduce the hazards to a tolerable risk, refer to ISO/IEC Guide 51.

In order to provide a high protection to personnel, the external effects of an arc shall be limited (by taking adequate precautions) to the appearance of a hole or tear in the enclosure without any fragmentation.

The manufacturer shall provide sufficient information to allow the user to take these precautions.

Manufacturer and user may agree upon a time during which an arc due to an internal fault up to a given value of short-circuit current will cause no external effects (refer also to 5.102.2).

5.101.3 Internal fault location

Appropriate devices shall be available to enable determination of the faults location.

5.102 Enclosures

5.102.1 General

The enclosure shall be of metal, permanently earthed and capable of withstanding the normal and transient pressures to which it is subjected in service.

While the enclosures of gas-filled equipment conforming to this international standard are permanently pressurized in service they are subjected to particular conditions of service which distinguish them from compressed air receivers and similar storage vessels. These conditions are:

- enclosures envelop the main circuit in order to prevent hazardous approach to live parts and are so shaped that when filled at or above the minimum functional gas pressure for insulation (see 4.10) they ensure that the rated insulation level (see 4.2) for the equipment is achieved (electrical rather than mechanical considerations predominate in determining the shape and materials employed);
- enclosures are normally filled with a non-corrosive gas, thoroughly dried, stable and inert; since measures to maintain the gas in this condition with only small fluctuations in pressure are fundamental to the operation of the installation, and since the enclosures will not be subject to internal corrosion, there is no need to make allowances for these factors in determining the design of the enclosures (however, the effect of possible transmitted vibrations should be taken into account);
- the service pressure employed is relatively low.

For outdoor installation, the manufacturer shall take into account the influence of climatic conditions (see Clause 2).

For buried installation, environment conditions shall be taken into account. Concerning the prevention of external corrosion, see 5.13.

5.102.2 Design of enclosures

The wall thickness of the enclosure shall be based on the design pressure as well as the following minimum withstand durations without burn-through:

- 0,1 s for currents of 40 kA and above;
- 0,2 s for lower currents.

In order to minimize the risk of burn-through, the level and duration of the fault current, the enclosure design and the size of the compartments shall be carefully coordinated. The minimum volume should be such that pressure relief devices will not operate within the minimum withstand durations given above.

In the absence of an international agreement on a standard procedure, methods for the calculation of the thickness and the construction of enclosures, either by welding or casting, may be chosen from established relevant pressure vessel and pipeline codes, based on the design temperature and design pressure defined in this international standard.

NOTE When designing an enclosure, account should also be taken of the following:

- a) the possible evacuation of the enclosure as part of the normal filling process;
- b) the full differential pressure possible across the enclosure walls or partitions;
- c) the resulting pressure in the event of an accidental leak between the compartments in the case of adjacent compartments having different service pressures;
- d) the possibility of the occurrence of an internal fault (see 5.7).

The design temperature of the enclosure is generally the upper limit of ambient temperature increased by the temperature rise due to the flow of rated normal current. Solar radiations should be taken into account when they have a significant effect.

The design pressure of the enclosure is at least the upper limit of the pressure reached within the enclosure at the design temperature.

In determining the design pressure of the enclosure, the gas temperature shall be taken as the mean of the upper limits of the enclosure temperature and the main circuit conductor temperature with rated normal current flowing unless the design pressure can be established from existing temperature-rise test records.

When designing the enclosure, mechanical loads other than those caused by internal overpressure shall be taken into account, for instance forces caused by thermal expansion (see 5.106) external vibration (see 5.107), soil loading for buried installations, other external loads, earthquakes, wind, snow and ice, etc.

For enclosures and parts thereof, the strength of which has not been fully determined by calculation, proof tests (see 6.7) shall be performed to demonstrate that they fulfill the requirements.

Materials used in the construction of enclosures shall be of known and certified minimum physical properties on which calculations and/or proof tests are based. The manufacturer shall be responsible for the selection of the materials and the maintenance of these minimum properties, based on certification of the material supplier, or tests conducted by the manufacturer, or both.

5.103 Partitions and partitioning

GIL shall be divided into compartments in such a manner that both the normal operating conditions are met and a limitation of the effects of an arc inside the compartment is obtained (see 5.101.1).

The manner in which the GIL is divided into compartments influences the following:

- installation;
- site testing;
- maintenance;
- gas handling.

The partitions are generally of insulating material but are not intended by themselves to provide electrical safety of personnel, for which other means such as earthing of the equipment may be necessary; they shall, however, provide mechanical safety against the differential gas pressure with the adjacent compartment.

A partition separating a compartment filled with insulating gas from a neighboring compartment filled with liquid, shall not show any leakage affecting the dielectric properties of the two media.

Consideration should be given to the partitioning of the GIL-system in order to meet the requirement of operation, limitation of the fault affected GIL part and convenience of maintenance.

5.104 Sections of a GIL system

The sectionalizing of a GIL system can be made using disconnecting units. The length of sections along the system is determined considering requirements such as access and maximum length for testing, installation progress for long projects or operational and maintenance reasons.

5.105 Pressure relief

Pressure relief devices in accordance with this subclause shall be arranged so as to minimize the danger to an operator during the time he is performing his normal operating duties on the GIL, if gases or vapors escape under pressure.

NOTE The term "pressure relief device" includes both: pressure relief valves, characterized by an opening pressure and a closing pressure; non-reclosing pressure relief devices, such as diaphragms and bursting disks.

5.105.1 Limitation of maximum filling pressure

For filling a gas compartment a pressure regulator shall be fitted to the filling pipe to prevent the gas pressure from rising to more than 10 % above the design pressure. Alternatively, the regulator may be fitted to the enclosure itself.

The filling pressure should be chosen to take into account the gas temperature at the time of filling, for example, checking by temperature-compensated pressure gauges.

5.105.2 Pressure relief devices to limit pressure rise in the case of an internal fault

Since, after an arc due to an internal fault, the damaged part of enclosures will be replaced, pressure relief devices need only be provided to limit the external effects of the arc (see 5.101.2).

Depending on volume of gas compartment, short-circuit current and duration, the pressure, in the case of an internal fault, may not exceed the routine test pressure of the enclosure; in such a case, a pressure relief device is not mandatory. This consideration is of specific interest if the installation is in a tunnel.

If pressure relief devices are used in confined space accessible to personnel, precautions shall be taken to ensure safety in case of release (See also Clause 11).

NOTE 1 In the case of an internal fault which causes yielding of the enclosure, the adjacent enclosures should be checked for absence of distortion.

NOTE 2 When bursting disks are used for pressure relief, due regard should be paid to their rupture pressure in relation to the design pressure of the enclosure to reduce the possibility of unintentional rupture of the disk.

5.106 Compensation of thermal expansion

Due to temperature differences between parts of the GIL, between parts of the GIL and their surroundings, or of parts of the GIL relative to the temperature during construction, parts of the line experience relative movements to each other and to their surroundings.

The relative movements or forces between the parts and/or their surroundings may be determined either by measurement or calculations which shall be based on the maximum temperature difference of the parts relative to the temperature during construction. Where compensation is necessary, the following methods shall be used:

- a) compensation between primary parts and enclosure shall be obtained by sliding contacts or similar means in the primary parts;
- b) compensation between the enclosure and its surroundings (fixed supporting structure, surrounding soil) shall be obtained by appropriate means.

NOTE Reference should be made to appropriate standards or methods for calculations of resulting forces and relative movements between environment and enclosure, and for interpretation of the results. This is particularly important for buried GIL, which are highly affected by factors such as anchoring, compression of the soil, type of soil, geometrical configuration of the line, etc.

5.107 External vibration

Under certain conditions, the GIL may be exposed to external vibrations. A typical case is when the GIL is attached to a bridge used by pedestrians, cars, and trains. Another case is when the GIL is directly connected to power transformers and reactors.

Where a transmission line is attached to a source of vibration, it is advisable to reduce mechanical stress by means of damping arrangements installed between the source and the part of the supporting structure which is rigidly connected to the transmission line. Such means may considerably reduce the mechanical dynamic stresses in the transmission line structure. The remaining dynamic stress level shall be used as a basis for the mechanical dimensioning by means of combining the loads resulting thereof with other mechanical loads acting on the GIL in order to determine the total stress levels and to ensure that these levels are below permitted levels of the materials used.

In the case of a bridge, special attention shall be paid to relative movements between the bridge and its surrounding. These movements may cause additional mechanical loads which it would be necessary to consider when determining the total stress levels during the mechanical dimensioning.

5.108 Supporting structures for non-buried GIL

The supporting structures for GIL have an influence on the mechanical features of the GIL. The construction of the supporting structure may vary in accordance with its function, the configuration of the GIL and the construction of the foundation, the tunnel or the shaft where the GIL is installed. For this reason this sub-clause describes the design condition and the requirements of the supporting structure functions.

5.108.1 Conditions of the design

The following forces and loads should be considered for the supporting structure design:

- weight of GIL;
- forces due to the internal gas pressure;
- friction between the surfaces of the support beam and the GIL foot;
- forces due to the thermal expansion of the GIL;
- seismic force, when applicable;

- wind load, when applicable;
- force due to short-circuit current;
- ice load, when applicable;
- forces due to other external impacts such as vibrations.
- SF₆/air bushing line pull.

When the supporting structure does not form part of the earthing system, means shall be provided to avoid eddy currents in the supporting structure and to allow corrosion protection.

5.108.2 Types of supporting structures

There are two basic kinds of supporting function, as follows:

- a) sliding and flexible supporting structures: these supporting structures are designed in order to support and allow a certain movement due to the thermal expansion of the GIL;
- b) rigid supporting structures: these supporting structures are designed in order to fix the GIL and to withstand the forces due to the thermal expansion of the enclosure and to the expansion of the compensators in the enclosure, if any, and to the internal gas pressure.

6 Type tests

6.1 General

Subclause 6.1 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition:

The type tests shall be made on representative assemblies or subassemblies.

Because of the variety of possible combinations of components, it is impracticable to subject all possible arrangements to type tests. The performance of any particular arrangement may be substantiated by test data obtained with comparable arrangements. All the tests shall be made with the equipment filled with the specified type of gas and at rated filling pressure, except when otherwise specified in the relevant subclause.

The results of all type tests shall be recorded in type test reports containing sufficient data to prove compliance with this specification, and sufficient information so that the essential part of the equipment tested can be identified. General information concerning the supporting structure shall be included in the test reports.

The type tests and verifications comprise the following:

6.1.101 Mandatory type tests	Subclause
a) Tests to verify the insulation level of the equipment including partial discharge tests and dielectric tests on auxiliary circuits	6.2
b) Tests to prove the temperature rise of any part of the equipment and measurement of the resistance of the main circuit	6.4 and 6.5
c) Tests to prove the ability of the main and earthing circuits to carry the rated peak and the rated short-time withstand current	6.6
d) Tests to verify the protection of persons against contact with live parts of auxiliary circuits	6.7
e) Tests to prove the strength of enclosures	6.101
f) Test to prove the strength of partitions	6.102
g) Gas tightness tests	6.103

- h) Anti-corrosion tests (if applicable) 6.103

6.1.102 Special type tests

(subject to agreement between manufacturer and user)

- a) Mechanical tests on sliding contacts 6.104
- b) Tests to verify the protection of the equipment against external effects due to weather and atmospheric agents 6.106
- c) Tests to assess the effects of arcing due to an internal fault 6.105
- d) Long term behaviour test for buried installation Annex C

NOTE Some of the type tests may impair the suitability of the tested parts for subsequent use in service.

6.2 Dielectric tests

Subclause 6.2 of IEC 62271-1 is not applicable.

6.2.1 Ambient air conditions during tests

Subclause 6.2.1 of IEC 62271-1 is not applicable.

6.2.2 Wet test procedure

Subclause 6.2.2 of IEC 62271-1 is not applicable.

6.2.3 Conditions of switchgear and controlgear during dielectric tests

Subclause 6.2.3 of IEC 62271-1 is not applicable.

Dielectric tests shall be performed at minimum functional pressure of the insulating gas as specified by the manufacturer. The temperature and pressure of the gas during the tests shall be noted and recorded in the test report.

6.2.4 Criteria to pass the test

Subclause 6.2.4 of IEC 62271-1 is applicable.

6.2.5 Application of test voltage and test conditions

Subclause 6.2.5 of IEC 62271-1 is not applicable.

The test voltages specified in 6.2.6 and 6.2.7 shall be applied connecting each phase conductor of the main circuit in turn to the high-voltage terminal of the test supply. All other conductors of the main circuit and the auxiliary circuits are to be connected to the earthing conductor or the frame and to the earth terminal of the test supply.

When each phase is individually encased in a metallic enclosure, only tests to earth, and no test between phases, are carried out.

6.2.6 Test of switchgear and controlgear of $U_r \leq 245$ kV

Subclause 6.2.6 of IEC 62271-203 is applicable with the following additions:

6.2.6.1 Power-frequency voltage tests

The GIL shall be subjected to short duration power-frequency voltage tests in accordance with IEC 60060-1. The test voltage shall be raised to the test value and maintained for 1 min. The test shall be performed in dry conditions only.

The equipment shall be considered to have passed the test if no disruptive discharge has occurred.

6.2.6.2 Lightning impulse voltage tests

During the tests, the earthed terminal of the impulse generator shall be connected to the enclosure of the GIL.

Consideration shall be given to the length of the tested object, in order to avoid overvoltage due to travelling waves.

6.2.7 Test of switchgear and controlgear of $U_r > 245$ kV

Subclause 6.2.7 of IEC 62271-203 is applicable with the following additions:

6.2.7.1 Power-frequency voltage tests

The GIL shall be subjected to short duration power-frequency voltage tests in accordance with IEC 60060-1. The test voltage shall be raised to the test value and maintained for 1 min. The test shall be performed in dry conditions only.

The equipment shall be considered to have passed the test if no disruptive discharge has occurred.

6.2.7.2 Lightning and switching impulse voltage tests

During the tests, the earthed terminal of the impulse generator shall be connected to the enclosure of the GIL.

Consideration shall be given to the length of the tested object, in order to avoid overvoltage due to travelling waves.

6.2.8 Artificial pollution tests for outdoor insulators

Subclause 6.2.8 of IEC 62271-1 is not applicable.

6.2.9 Partial discharge tests

Subclause 6.2.9 of IEC 62271-203 is applicable.

The maximum permissible partial discharge intensity at U_q corresponding to the applied test circuit should not exceed 5 pC.

6.2.10 Dielectric tests on auxiliary and control circuits

Subclause 6.2.10 of IEC 62271-1 is applicable.

6.2.11 Voltage test as condition check

Subclause 6.2.11 of IEC 62271-1 is not applicable.

6.3 Radio interference voltage (r.i.v.) test

Subclause 6.2.3 of IEC 62271-1 is not applicable.

6.4 Measurement of the resistance of circuits

Subclause 6.4 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition:

The current-carrying parts of the main circuit and the enclosure, and each type of contact system shall be tested before and after the temperature type test.

6.5 Temperature-rise tests

Subclause 6.5 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition:

Calculations may be performed based upon type test results to determine the maximum permissible current in other specified service conditions. For these calculations, refer to Annex A. Any complementary test shall be agreed between manufacturer and user.

The assembly or subassembly shall include normal enclosure with corrosive preventive coating, if applicable, and shall be protected against undue external heating or cooling. The test shall be carried out in open air.

Where the design provides alternative components or arrangements, the test shall be performed with those components or arrangements for which the most severe conditions are obtained.

Except when each phase is encased individually in a metallic enclosure, the tests shall be made with the rated number of phases and the rated normal current flowing from one end of the assembly to the terminals provided for the connection of test cables.

When a single-phase test is permitted and carried out, the current in the enclosure shall represent the most severe condition.

When testing individual subassemblies, the neighbouring subassemblies should carry the currents which produce the power loss corresponding to the rated conditions. Equivalent conditions are allowed to be simulated, by means of heaters or heat insulation, if the test cannot be made under actual conditions.

The temperature rises of the different components shall be stated with reference to the ambient air temperature. They shall not exceed the values specified for them in the relevant standards.

NOTE 1 The data on power losses and electrical resistance of the current-carrying parts of the GIL will be used to carry out calculations according to Annex A.

NOTE 2 The time constant of the GIL during the test will serve as a basis to evaluate the temporary overload capability of the GIL.

6.6 Short-time withstand current and peak withstand current tests

Subclause 6.6 of IEC 62271-203 is applicable.

Where the design provides alternative components or arrangements, the tests shall be performed with those representative components or arrangements for which the most severe conditions are obtained.

6.6.1 Arrangements of the GIL and of the test circuit

Subclause 6.6.1 of IEC 62271-1 is not applicable.

The test arrangement shall be fitted with clean contacts in new condition.

A GIL with three-phase enclosure shall be tested three-phase.

A GIL with single-phase enclosure shall be tested according to the return current in the enclosure, dependent on the grounding system:

- a) if the enclosure carries the full return current in service, the GIL shall be tested single phase, with the full return current in the enclosure;
- b) if the enclosure does not carry the full return current in service, the GIL shall be tested three-phase. The tests shall be made at the minimum distance between phases indicated by the manufacturer.

6.6.2 Test current and duration

Subclause 6.6.2 of IEC 62271-1 is applicable.

6.6.3 Behaviour of the GIL during test

Subclause 6.6.3 of IEC 62271-1 is not applicable.

It is recognized that, during the test, the temperature rise of current-carrying and adjacent parts of the GIL may exceed the limits specified in Table 3 of IEC 62271-1. No temperature-rise limits are specified for the short-time current withstand test, but the maximum temperature reached should not be sufficient to cause significant damage to the adjacent parts.

6.6.4 Conditions of the GIL after test

Subclause 6.6.4 of IEC 62271-1 is not applicable.

After the test, there shall be no deformation or damage to conductors or contact joints within the enclosure which may impair good service.

After the test, the resistance of the main circuits shall be measured according to 6.3. If the resistance has increased by more than 20 % and if it is not possible to confirm the conditions of the contacts by visual inspection, it will be necessary to perform an additional temperature-rise test.

6.7 Verification of the protection

Subclause 6.7.1 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition:

If the second characteristic numeral is specified, the tests shall be performed in accordance with the requirements in Clauses 11 and 14 of IEC 60529:1989 for the appropriate numeral.

6.8 Tightness tests

Subclause 6.8 of IEC 62271-1 is applicable.

6.8.101 Flange connection

See 6.8 of IEC 62271-1.

6.8.102 Welded connection

No specific tightness test is required for on site welded enclosures if a 100 % inspection of the weld by radiographic, ultrasonic or other means be performed. In this case the welds are considered to have a zero leakage rate.

NOTE The impact of a flanged connection at the beginning and/or end is negligible in case of a welded GIL.

6.9 Electromagnetic compatibility tests (EMC)

Subclause 6.9 of IEC 62271-1 is not applicable.

6.10 Additional test on auxiliary and control circuits

Subclause 6.10 of IEC 62271-1 is not applicable.

6.11 X-radiation test procedure for vacuum interrupters

Subclause 6.10 of IEC 62271-1 is not applicable.

6.101 Proof tests for enclosures

Proof tests are made when the strength of the enclosure or parts thereof is not calculated. They are performed on individual enclosures before the internal parts are added with testing conditions based on the design pressure stresses.

Proof tests may consist of either a bursting pressure test or a non-destructive pressure test, as appropriate to the material employed.

6.102 Destructive pressure tests

Subclause 6.103.1 of IEC 62271-203 is applicable.

In the case of a bursting pressure test, the pressure rise should not be faster than 400 kPa/min. The bursting pressure test requirements should be based on 3,5 times the design pressure for cast enclosures and 2,3 times the design pressure for welded enclosures. These factors are based on the minimum certified properties of the material used.

Additional factors may be required taking into account the methods of construction and the material used.

Any enclosure remaining intact after these pressures have been reached shall be discarded.

6.102.1 Non-destructive pressure test

Subclause 6.103.2 of IEC 62271-203 is applicable.

6.102.2 Test to prove the strength of partitions

Subclause 6.104 of IEC 62271-203 is applicable.

6.103 Anti-corrosion tests for buried installation

6.103.1 Passive corrosion protection

The passive corrosion protection system is basically a synthetic coating of the metal enclosure to protect the metal from humidity. The synthetic coating is usually built up from one or more layers of synthetic material.

The following three tests shall be performed.

6.103.2 Electrical testing

To prove the quality of the synthetic coating a high-voltage test shall be applied. An electrical conductive layer is applied over the synthetic coating. A test voltage according to the dielectric strength of the synthetic coating is then applied between the metal enclosure and the electrical conductive layer.

The voltage level is dependent on the type of synthetic coating and shall be defined by agreement between manufacturer and user. In case the test is required by the particular contract, the corrosion protection layer shall be subjected to the electrical test specified in Clause 3 of IEC 60229:2007.

The length of the test sample shall be sufficient to provide the synthetic coating with a realistic result. Therefore the minimum length recommended is $5 D$, where D is the outer diameter of the metal enclosure.

6.103.3 Mechanical testing

Mechanical type tests are carried out at an ambient temperature in accordance with IEC 60068-1. The mechanical type test has to prove the resistance of the coating to conditions on site during and after laying. Resistance to two mechanical stresses needs to be proven:

- bending of the coating; and
- impact on the coating of metal objects or rocks.

The mechanical stresses are highly dependent on the laying methods and the system layout. The forces and the procedure for carrying out testing shall be mutually agreed between user and manufacturer.

6.103.4 Thermal testing

Thermal type tests represent the stresses produced by the maximum temperature changes of the GIL during on-site assembly and in service.

Normal service conditions are covered by IEC 62271-1, where special ambient conditions need to be defined by the user. The procedure for carrying out type tests shall be mutually agreed between manufacturer and user.

6.104 Special mechanical test on sliding contacts

A mechanical endurance test shall be carried out to assess the ability of basic components such as sliding contacts to perform their duty during the expected lifetime of the equipment.

NOTE 1 The test is specific to GIL because of the difficulty of measuring and maintaining the contacts.

The contact shall be identified by:

- the contact arrangement and principle;
- the contact material (including the nature and thickness of the coating, if any);
- the contact pressure (minimum – maximum);
- the lubrication (if any) as indicated in the instruction manual.

The test conditions shall indicate:

- the contact stroke;

- the contact speed;
- the number of cycles.

A motorized test rig may be used to simulate the expected relative movement of the live conductor. The test is considered representative provided that:

- the worst conditions are met, considering maximum differential expansion, weight of conductor, loads, etc.;
- the frequency of operation is limited to a value in the order of six cycles an hour;
- the number of cycles is 10 000 for general purpose of GIL.

NOTE 2 For special applications, such as feeding a pump storage plant, a larger number of operating cycles and/or an increased frequency of operation may be agreed between manufacturer and user.

The following inspections and tests are performed before and after the test:

- visual check;
- dimensional check and contact pressure;
- contact resistance.

The test will be considered as satisfactory if:

- the visual check shows that initial surface coating is still present everywhere;
- the wear is such that contact pressure is still within allowed tolerance;
- the contact resistance variation is less than or equal to 20 %.

6.105 Test under conditions of arcing due to internal fault

If such a test is agreed between manufacturer and user, the procedure shall be in accordance with the methods described in IEC 62271-203, Annex B.

The current duration shall not be less than the expected second stage protection fault clearance time, as determined by the protection devices.

The values of the short-circuit current should correspond to the rated short-time withstand current.

NOTE For information, the fault clearing time for the first stage protection is about 0,1 s for currents of 40 kA and above and 0,2 s for lower currents. The time for the second stage protection normally does not exceed 0,3 s for currents of 40 kA and above, and 0,5 s for lower currents.

The GIL is considered adequate if, during the test, no external effects are produced within the withstand durations specified in 5.102.2.

No fragmentation of the enclosure shall result from a fault cleared in 0,3 s for currents of 40 kA and above, and in 0,5 s for lower currents unless otherwise agreed upon between manufacturer and user.

Tests on a particular arrangement may also be used to predict the performance of other arrangements with the same design, either by calculation, or inference, or a combination of both.

To extend the test results to other enclosures of similar design but of different size and shape and/or to other test parameters, calculation methods should be agreed between manufacturer and user.

6.106 Weatherproofing test

When agreed between manufacturer and user, a weatherproofing test shall be made on GIL for outdoor use. A recommended method is given in Annex A of IEC 62271-203. This test also takes into account the effects of wind-driven snow.

If an examination of the design shows the test to be unnecessary, it may be omitted.

7 Routine tests

7.1 Dielectric tests on the main circuits

Subclause 7.1 of IEC 62271-203 is applicable with the following addition:

Dielectric routine tests will preferably be performed on complete subassemblies. However, because of the existence of very long parts which may be shipped dismantled, the manufacturer may limit the routine test to critical parts (insulators for example). These critical parts shall be tested in a dielectric configuration identical to the service condition. The dielectric test on the fully assembled section will then be made at site (see 10.3.101).

The power-frequency voltage tests on the main circuit of the GIL shall be performed according to the requirements of 6.2.5 to earth and between phases (if applicable). The test voltages for routine tests shall be chosen from IEC 62271-203 (column (2) of Tables 102 or 103).

The tests shall be performed at minimum functional pressure of the insulating gas.

7.2 Dielectric tests on auxiliary and control circuits

Subclause 7.2 of IEC 62271-1 is applicable.

7.3 Measurement of the resistance of the main circuit

Subclause 7.3 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition:

Overall measurements are made on transport units in the factory. The overall resistance measured shall not exceed $1,2 R_u$, where R_u is the sum of the corresponding resistances measured during the type test.

7.4 Tightness test

Subclause 7.4 of IEC 62271-1 is applicable, with the following addition:

Attention shall be paid to the fact that external coating of the enclosure (if any) may hide a leak. The tightness test procedure shall be adapted accordingly.

NOTE This test applies for factory made enclosures, for site welded enclosures refer to 10.3.104.

7.5 Design and visual checks

Subclause 7.5 of IEC 62271-1 is applicable.

7.101 Partial discharge measurement

Partial discharge measurements (PD) shall be applied to critical parts such as insulators. Refer to 6.2.6 and 6.2.6.2 for the voltage levels and the partial discharge acceptance value.

The detection of PD on subassemblies and/or sections of the GIL is recommended.

7.102 Pressure tests of factory made enclosures

A pressure test shall be made on each individual enclosure after manufacture.

The standard test pressure shall be k times the design pressure, where the factor k is:

- 1,3 for welded enclosures;
- 2,0 for cast enclosures.

8 Guide to the selection of GIL

Clause 8 of IEC 62271-1 is not applicable.

For a given duty in service, GIL is selected by considering the individual rated values required under normal load conditions and in case of fault conditions.

The rated values should be chosen, as suggested in this technical report, with regard to the characteristics of the system as well as its expected future development.

The duty imposed by fault conditions should be determined by calculating the fault currents at the place where the transmission line is to be located in the system.

When applicable, temporary overload and coincident ambient temperature shall be agreed between manufacturer and user. It is recommended to develop a temperature study on the project specific installation to confirm that temperature limits will not be exceeded.

8.101 Short time overload capability

The conditions of temporary overload shall be agreed between manufacturer and user under consideration of the special circumstances (overload factor and duration, ambient temperature, initial conditions, increase in temperature limits for overload condition, laying conditions etc.). A typical overload figure is for example 20 % above the rated current for 30 min taking into account the particular load and temperatures at the beginning of the overload period.

8.102 Forced cooling

It shall take into account the total losses in the tunnel. Losses shall be those at rated current for the GIL and rated conditions for other sources.

NOTE Access to the tunnel for service should be restricted under the following conditions:

- in case of temporary overload;
- in case of loss of ventilation;
- in case of excessive temperature within the tunnel;
- when gas concentration exceeds levels stated in local regulations.

9 Information to be given with enquiries, tenders and orders

Clause 9 of IEC 62271-1 is not applicable.

9.101 Information with enquiries and orders

When enquiring for, or ordering the installation of a GIL, the following information should be supplied by the enquirer.

9.101.1 Particulars of the system

Nominal and highest voltage, frequency, type of system neutral earthing.

9.101.2 Environmental conditions

Details of environmental conditions shall be given such as:

- a) location inside electrical plant with restricted accessibility or outside, accessible to the public;
- b) buried or non-buried installation;
- c) installation in trenches, tunnels, or in open air with structures to be provided;
- d) geological section and, in the case of a buried installation, geological and physical structure of soil;
- e) depth of laying (if buried);
- f) thermal conductivity of soil (if buried);
- g) ventilation of trenches or tunnels;
- h) seismic requirements.

9.101.3 Service conditions

Minimum and maximum ambient air or soil temperature; any condition deviating from the normal service conditions or affecting the satisfactory operation of the equipment, for example, unusual exposure to vapour, moisture, fluids, fumes, explosive gases, excessive dust or salt, the risk of earth tremors or other vibrations due to causes external to the equipment to be delivered, as well as possible movement of foundation, and possible mechanical impact.

9.101.4 Particulars of the installation

Details of the particulars of the installation shall be given such as:

- a) system length and geographical routing;
- b) number of phases (individually encased or in a common enclosure);
- c) number of lines located in the same trench or tunnel;
- d) rated voltage;
- e) rated insulation level;
- f) rated normal current;
- g) rated short-time withstand current;
- h) rated duration of short-circuit (if different from 1 s);
- i) rated peak withstand current;
- j) maximum fault clearing time in case of internal fault;
- k) degree of protection for auxiliary circuits.

9.101.5 Particulars of the auxiliary devices

Details of the particulars of the auxiliary devices shall be given such as:

- a) requirements of auxiliary devices and monitoring system (e.g. interlocking, gas supervision, signals etc.);
- b) rated auxiliary voltage (if any);
- c) rated auxiliary frequency (if any).

9.101.6 Specific conditions

In addition to these items, the enquirer should indicate every condition which might influence the tender or the order, such as, for example, transport facilities and/or restrictions, special mounting or erection conditions, the locating of the external high-voltage connections or the rules for pressure vessels.

Information should be supplied if special type tests are required.

9.102 Information with tenders and contract documentation

The following information, if applicable, should be given by the manufacturer with written descriptions and drawings.

9.102.1 Rated values and characteristics

Particulars of the installation are enumerated in 9.101.4.

9.102.2 Further particulars of the transmission line and its components

Details of the line shall be given such as:

- a) design pressure of enclosures;
- b) design temperature of enclosures;
- c) type and rated pressure of gas for insulation;
- d) minimum functional pressure;
- e) mass of gas for the different compartments;
- f) length of the compartments;
- g) limit values of moisture content and gas leakage;
- h) details of appropriate measures for fault location.

9.102.3 Type test certificate or reports

When requested, type test certificates or reports shall be transmitted as complete documents.

9.102.4 Constructional features

The tenders and contract documentation shall provide at least but not limited to the following information:

- a) mass of the heaviest transport unit;
- b) overall dimensions of the transmission line;
- c) arrangement of the external connections;
- d) provisions for transport to be taken by the user;
- e) provisions for installation and laying prescribed by the manufacturer;
- f) location of the attachment points to the supports;
- g) maximum forces to each attachment point;
- h) maximum deflection of the enclosure at each attachment point.

9.102.5 Particulars of the auxiliary devices

The tenders and contract documentation shall provide at least but not limited to the following information:

- a) types and rated values as enumerated in 9.101.5;
- b) current or input power for operation.

9.102.6 Information about all matters to be subject to prior agreement between manufacturer and user

Void.

9.102.7 List of recommended essential spare parts

Spare parts should be procured by the user.

10 Transport, storage, installation, operation and maintenance

Clause 10 of IEC 62271-1 is applicable, except as follows.

10.1 Conditions during transport, storage and installation

Subclause 10.1 IEC 62271-1 is applicable, with the following addition:

Internal cleanliness influences the function of the GIL; cleanliness therefore shall be assured by suitable precautions as prescribed by the manufacturer.

NOTE The following precautions may be included:

- connecting GIL units under clean conditions (e.g. closed assembly tents with dry air, temperature regulation and with slight gauge pressure);
- openings should be covered by dust-protector or coverplates during installation;
- if necessary, the complete GIL should be cleaned inside after assembly;
- additional to precautions on site, transportation with a prefill of dry and clean gas can be helpful to keep internal parts of the GIL in good condition.

The assembly unit should be as large as possible in order to reduce the assembly on site and the risk of pollution.

Connecting areas of the GIL units should be protected against damage to sealing surfaces or prepared edges for welding seams.

Where the GIL units have been welded on site, precautions should be made to avoid metal particles or polluting smoke entering the GIL.

The installation procedure should be covered by the quality assurance system.

10.2 Installation

Subclause 10.2 of IEC 62271-1 is applicable, with the following addition.

For each type of GIL the instructions provided by the manufacturer should at least include the items listed below.

10.2.1 Unpacking and lifting

Subclause 10.2.1 of IEC 62271-1 is applicable.

10.2.2 Assembly

Subclause 10.2.2 of IEC 62271-1 is applicable.

10.2.3 Mounting

Subclause 10.2.3 of IEC 62271-1 is applicable.

10.2.4 Connections

Subclause 10.2.4 of IEC 62271-1 is applicable.

10.2.5 Final installation inspection

Subclause 10.2.5 of IEC 62271-1 is not applicable.

Instructions should be provided for inspection and tests which should be made after the GIL has been installed and all connections have been completed.

The instructions should include:

- a schedule of recommended site tests to establish a correct functioning;
- recommendations for any relevant measurements that should be made and recorded to help future maintenance decisions;
- instructions for final inspection and putting into service.

10.2.6 Basic input data by the user

Subclause 10.2.6 of IEC 62271-1 is applicable.

10.2.7 Basic input data by the manufacturer

Subclause 10.2.7 of IEC 62271-1 is applicable.

10.3 Operation

Subclause 10.3 of IEC 62271-1 is not applicable.

After installation, before putting into service, the GIL shall be tested to check the correct operation and the dielectric strength of the equipment.

These tests and verifications comprise:

	Subclause
a) voltage tests on the main circuits	10.3.101
b) dielectric tests on auxiliary circuits	7.2
c) measurement of the resistance of the main circuit	10.3.103
d) gas tightness tests	7.4
e) checks and verifications	10.3.106
f) measurement of gas condition	10.3.102
g) anti-corrosion tests for buried installations	10.3.107
h) tests on enclosures welded on site	10.3.104

To ensure minimum disturbance, and to reduce the risk of moisture and dust entering enclosures so preventing correct operation of the GIL, no obligatory periodic inspections or pressure tests are specified or recommended when the GIL is in service.

10.3.101 Voltage test on the main circuits

10.3.101.1 General

Since it is exceptionally important for GIL, the dielectric strength shall be checked in order to eliminate causes which might give rise to an internal fault in service.

The site voltage tests are supplementary to the dielectric routine tests with the aim of checking the dielectric integrity of the completed installation and of detecting irregularities as mentioned above. Normally, the dielectric test shall be made after the GIL has been fully erected and gas-filled at the rated pressure, preferably at the end of all site tests, when newly installed. Such a dielectric test is recommended to be performed also after major dismantling for maintenance or reconditioning of compartments. These tests shall be distinguished from the progressive voltage increase, performed in order to achieve a kind of electrical conditioning of the equipment before commissioning.

The execution of such site tests is not always practicable and deviations from the standards may be accepted. The aim of these tests being a final check before energizing, it is very important that the chosen test procedure does not jeopardize sound parts of the GIL.

In choosing an appropriate test method for each individual case, a special agreement may be necessary in the interest of practicability and economy, e.g. the electrical power requirements and the dimensions and weight of the test equipment may need to be considered.

A detailed test programme for the dielectric tests on site shall be agreed between manufacturer and user.

10.3.101.2 Test procedure

The GIL shall be properly erected and gas-filled at its rated pressure.

For the test, the GIL may not be connected to other equipment, either because of their high charging current or because of their effect on voltage limitation, such as:

- high-voltage cables and overhead lines;
- power transformers and most voltage transformers;
- surge arresters and protective spark gaps.

Due to the possible length of a GIL it may be necessary for the site dielectric test to be carried out in sections. Due to this fact, provisions shall be made within the design of the GIL to incorporate positions where test equipment can be mounted without having to dismantle the GIL.

The conductor of the GIL section not under test shall be grounded.

NOTE 1 In determining the parts which can be disconnected, attention is drawn to the fact that the reconnection may introduce faults after the tests are finished.

NOTE 2 In order to test as much as possible of the GIL, removable links may be included in the design in each of the above-mentioned cases. Here a "link" is understood to be a part of the conductor which can easily be removed in order to isolate two parts of the GIL from each other. This type of separation is preferable rather than dismantling.

Every newly erected part of a GIL shall be subjected to a dielectric test on site.

In the case of extensions, in general, the adjacent existing part should be de-energized and earthed during the dielectric test, unless special measures are taken to prevent disruptive discharges in the extension affecting the energized part of the existing GIL.

Application of the test voltage may be necessary after repair or maintenance of major parts or after erection of extensions. The test voltage may then have to be applied to existing parts in order to test all sections involved. In those cases the same procedure should be followed as for newly installed GIL.

For the choice of an appropriate voltage waveform, IEC 60060-1 should be taken into consideration; however, similar waveforms are also permissible. AC is preferred, and d.c. should not be used. Partial discharge monitoring shall be performed during application of the test voltage. Conventional partial discharge measurement in accordance with IEC 60270 may not be appropriate. Other methods, such as UHF should be considered. At the present time, no level has been prescribed.

A voltage level equal to 80 % of the a.c. voltage applied during the routine test is recommended. For long GIL, the test is performed on sections as long as possible.

When the sections are fully assembled to form the complete installation, a test is performed at a lower voltage because of the capacity of the testing facility.

Impulse test voltage may be additionally performed (lightning impulse wave shape, possibly oscillating, with an extended front time may be used). The voltage level shall be agreed between manufacturer and user.

10.3.102 Measurement of gas conditions

The moisture content of the insulation shall be determined. This moisture content shall be in accordance with 5.1.

The measurement shall be performed on all compartments of the GIL, assembled and filled with gas at the rated pressure.

If the GIL is filled with sulphur hexafluoride, refer to IEC 60376 and IEC 60480 for checking the conditions of the gas during service.

10.3.103 Measurement of the resistance of the main circuit

The measurement shall be performed on assembled sections of the GIL. The conditions of the measurement should be as close as possible to those of routine tests performed where possible on transport units.

Nevertheless, the measurement method and the adequate length for the assembled sections shall be chosen considering the following requirements:

- the measurement shall be done in such a way as to verify the integrity of the main circuit, including joints;
- the accuracy of the measurement shall allow the detection of all possible bad joints.

10.3.104 Tests on enclosures welded on site

Where enclosures are welded on site, two types of tests shall be performed to verify the weld quality and integrity: testing of the welds and pressure tests.

10.3.104.1 Testing of site welding

The absence of unacceptable defects in all welds prepared on site shall be confirmed by suitable radiographic, ultrasonic or other equivalent techniques, by agreement between manufacturer and user.

10.3.104.2 Pressure test

Site-welded enclosures shall withstand a pressure test, preferably pneumatic. In this case the factor k may be limited to 1,1, the test being done on the complete fully assembled compartment. In such case additional precautions such as increased weld inspections should be made.

Where the factor k is limited to 1,1, testing of the weld in accordance with 10.3.104.1 shall be performed over 100 % of the weld length.

Provision shall be taken during the test to make sure that the pressure relief device will not operate. If a pneumatic test is not in compliance with local regulations, an alternative method shall be agreed between manufacturer and user.

NOTE Hydraulic testing of the assembled compartment should be avoided.

10.3.105 Periodic testing of the enclosure

No periodic testing of the enclosure is required if:

- enclosures are filled with a non-corrosive gas, dried, stable and inert;
- anti-corrosion external coating is monitored.

10.3.106 Checks and verifications

The following shall be verified:

- a) conformity of the assembly with the manufacturer's drawings and instructions.
- b) sealing of all pipe junctions, and tightness of bolts and connections;
- c) conformity of the wiring with the diagrams;
- d) proper functioning of the monitoring and regulating equipment including heating and lighting;
- e) check of the correct connection of the bonding system.

NOTE If, for whatever reason, one or more routine tests are not performed at the manufacturer's works, they should be carried out on site combined with the tests after erection.

10.3.107 Tests on corrosion protection for directly buried GIL

10.3.107.1 Passive corrosion protection

The voltage level and duration specified in Clause 5 of IEC 60229:2007 shall be applied between the metallic enclosure and the ground.

For the test to be effective, it is necessary that the ground makes good contact with all of the outer surface of the oversheath. A conductive layer on the oversheath can assist in this respect.

10.3.107.2 Active corrosion protection

The active corrosion protection system is laid out in accordance with the environmental conditions along the GIL. The protection current and protection potentials are calculated from data on soil electrical resistivity and acidity.

These values shall be measured after the GIL goes into service.

10.4 Maintenance

10.4.1 Recommendations for the manufacturer

Subclause 10.4.1 of IEC 62271-1 is applicable.

10.4.2 Recommendations for the user

Subclause 10.4.2 of IEC 62271-1 is applicable.

10.4.3 Failure report

Subclause 10.4.3 of IEC 62271-1 is applicable.

10.4.101 Maintenance of GIL

The effectiveness of maintenance depends mainly on the way instructions are prepared by the manufacturer and implemented.

It is important to think through the requirements of a possible post-fault or other repair and make provisions for gas handling and storage, access for replacement section, in-situ welding, fume extraction and weld inspection, and consider how a high-voltage test can be performed post-repair.

10.4.102 Gas handling

The following applies to GIL filled with gases which might have an environmental impact or might impose a hazard to the operating personnel.

For GIL utilizing SF₆ gas or mixtures thereof, IEC 62271-303 applies, in addition to the recommendations below.

In general, insulating gas shall be handled in such a way as not to cause harmful effects to the environment or persons. If the gas, or its decomposition products, which might be generated under certain service conditions (e.g. due to internal arcing), impose a hazard to personnel, appropriate precautions shall be taken in order to ensure safe handling, including decontamination after accidental release of hazardous products.

Regulations concerning the maximum permitted concentration of gas in those work areas using the gas, shall be observed. This might call for installation of devices for measurement of the gas concentration, and for ventilation arrangements. This is particularly important when working in trenches, tunnels and similar locations with restricted space close to the installation. In the case of nitrogen and other gases which can be inhaled without risk, similar precautions shall be taken in order to prevent suffocation.

If the gas used has an environmental impact, it shall not under normal conditions (e.g. maintenance, repair) be released into the atmosphere. This means reclaiming by means of a gas handling unit with a storing capacity corresponding to the largest gas volume of the installation. Abnormal leaks shall be rectified. Contaminated gas shall either be reprocessed by means of the gas handling unit and reused, or, if not possible, be sent to a company specialized in decontamination/reprocessing of waste. If the waste is considered to be hazardous, relevant rules for safety during handling and transportation shall be observed.

11 Safety

Clause 11 of IEC 62271-1 is applicable, except as follows.

High-voltage, gas-insulated transmission lines can be safe only when installed in accordance with the relevant installation rules, and used and maintained in accordance with the manufacturer's instructions. It shall be operated and maintained by qualified personnel.

Due to the fact that it is completely impossible to touch any live part, a GIL provides a maximum degree of safety. However, it is normally only accessible by instructed persons.

When it is installed in an area accessible to the public, additional safety features shall be required. Two types of installation are to be considered.

- In the case of buried installations, there is no direct access but visible markings and a buried marker tape inform persons that an electrical device is buried at this location. These dispositions, combined with a sufficient thickness of earth (typically 1 m, see 2.102) should avoid any accidental contact. Potential load limits of the area above the trench shall be clearly visible installed along the route.
- In the case of above ground installations, fences or equivalent means shall be located along the GIL in such a way that no unintentional contact with the GIL or its accessories is possible.

The following specifications are particularly important in order to ensure personal safety:

11.1 Precautions by manufacturers

Subclause 11.1 of IEC 62271-1 is applicable.

11.2 Precautions by users

Subclause 11.2 of IEC 62271-1 is applicable.

11.3 Electrical aspects

Subclause 11.3 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition:

- Effect of an internal fault (see 5.101)

11.4 Mechanical aspects

- Mechanical stress due to the action of the external environment, or interaction between GIL and the environment:
 - movement of foundation, earthquakes, soil loading, wind, ice (see 5.102.2, 5.20)
 - thermal expansion (see 5.106)
- Pressurized components (see 5.102.2, 5.103, 5.104)
- Mechanical impact protection (see IEC 62271-1)

11.5 Thermal aspects

- Maximum temperature of accessible part (see 4.4.2)
- Flammability (see IEC 62271-1)

11.101 Maintenance aspects

- Gas handling (see 10.4.102)
 - Operations of maintenance personnel in tunnels (see 5.105.2)
- Operations performed by maintenance personnel shall be strictly limited. When a maintenance operation is necessary, conditions shall be carefully defined and take into account the design of the GIL (gas volumes of the compartments, presence of pressure relief devices, etc.) and the volume of the tunnel.
- Earthing of the main circuits and the enclosure (see 5.3.101, 5.3.102)

12 Influence of the product on the environment

Clause 12 of IEC 62271-1 is applicable, with the following addition.

Also refer to 10.4.102.

Annex A (informative)

Estimation of continuous current

A.1 General

The aim of this annex is to define the continuous current of the GIL when operating conditions are different from those of type tests, for example, open air GIL directly exposed to solar radiation, buried GIL or GIL in shafts or tunnels with forced cooling. Other changes might include different distances between phases or phase positions in the case of single-phase GIL or different enclosure currents due to earthing. The proposed method provides basis for the estimation of continuous current, and refers to IEC 60287-1-1.

In contrast to the referred standards, the estimation of the continuous current may not solely be based on calculation, but be deduced from reference values to be obtained from type test results. The given standards may be used for calculation. If other appropriate calculation methods are used, these may be mentioned. The calculation is allowed if the temperature rise of the conductor is not more than 15 K with respect to the performed type test.

NOTE Although the scope of IEC 60287-3-1 refers to cables, the given calculations are also valid for GIL, unless the premises for certain relations (mainly concerning dimensions) define otherwise.

A.2 Symbols

D_c	diameter of conductor	(m)
D_e	diameter of enclosure	(m)
L	length of GIL	(m)
n	number of phases in one enclosure	
$\Delta\theta_c$	average temperature rise of the conductor	(K)
$\Delta\theta_{mc}$	maximum temperature rise of the conductor	(K)
$\Delta\theta_e$	average temperature rise of the enclosure	(K)
$\Delta\theta_{me}$	maximum temperature rise of the enclosure	(K)
$\Delta\theta_{ce}$	average temperature difference between conductor and enclosure	(K)
I_s	estimated continuous current	(kA)
K	thermal coefficient for heat exchange	
α	temperature coefficient of electrical resistivity	(1/K)
α_c	temperature coefficient of electrical resistivity for conductor	(1/K)
α_e	temperature coefficient of electrical resistivity for enclosure	(1/K)

A.3 Reference values

A.3.1 General

The following reference values may be deduced from the type test results:

- a) general type test values;
- b) a.c. resistances;
- c) dissipation;
- d) thermal resistances;

e) thermal coefficients.

A.3.2 General type test values

The following values have to be derived from or given by the performed type test:

I_r	rated current	(kA)
$\Delta\theta_{co}$	average temperature rise of the conductor	(K)
$\Delta\theta_{mco}$	maximum temperature rise of the conductor	(K)
R_{dco}	d.c. resistance of conductor at ambient temperature	($\mu\Omega$)
I_{eo}	enclosure current	(kA)
$\Delta\theta_{eo}$	average temperature rise of the enclosure	(K)
$\Delta\theta_{meo}$	maximum temperature rise of the enclosure	(K)
R_{deo}	d.c. resistance of enclosure at ambient temperature	($\mu\Omega$)
$\Delta\theta_{ceo}$	average temperature difference between conductor and enclosure	(K)

NOTE The average temperature is determined from the temperature profile over the (tested) length.

A.3.3 AC resistances

The a.c. resistance of the conductor at average conductor temperature R_{co} may either be deduced from the measured d.c. resistance R_{dco} and IEC 60287-3-1 or by appropriate calculation.

The a.c. resistance of the enclosure at the average enclosure temperature R_{eo} may either be deduced from the measured d.c. resistance R_{deo} and IEC 60287-3-1 or by appropriate calculation.

NOTE 1 Contact resistance should also be taken into account.

NOTE 2 Such resistance value of the GIL should be defined in relation to the length of the GIL under consideration.

NOTE 3 Proximity effect should be considered; reference may be made to IEC 60287-3-1 or appropriate literature.

A.3.4 Dissipation

The dissipation in the conductor P_{co} at average conductor temperature may be determined by:

$$P_{co} = I_r^2 \times R_{co}$$

The dissipation in the enclosure at P_{eo} average enclosure temperature may be determined in case of known amplitude by:

$$P_{eo} = I_{eo}^2 \times R_{eo}$$

Otherwise the dissipation in the enclosure due to eddy currents may be determined by calculation (refer IEC 60287-3-1 or appropriate literature).

A.3.5 Thermal resistances

The thermal resistance T_{ceo} between conductor and enclosure is given by:

$$T_{ceo} = \Delta\theta_{ceo} / P_{co}$$

The thermal resistance T_{eo} between enclosure and the environment is given by:

$$T_{eo} = \Delta\theta_{eo} / [n \times P_{co} + P_{eo}]$$

A.3.6 Thermal coefficient

The thermal resistance T is given in IEC 60287-3-1 (thermal resistance in air (gaseous medium)) as:

$$T = 1 / [\pi \times D \times K \times \theta^{0,25}]$$

where

K is the thermal coefficient;

D is the diameter;

θ is the temperature difference.

The thermal coefficients K_{ce} and K_e for respectively T_{ce} and T_e are therefore given by:

$$K_{ce} = 1 / [T_{ceo} \times \pi \times D_c \times \Delta\theta_{ceo}^{0,25}]$$

$$K_e = 1 / [T_{eo} \times \pi \times D_e \times \Delta\theta_{eo}^{0,25}]$$

NOTE According to IEC/TR 60943, the relationship between current and temperature rise is:

$$I^{1,67} = K' \Delta\theta.$$

Therefore the thermal resistance according to IEC/TR 60943 would be given by:

$$T = 1 / [\pi \times D \times K' \theta^{0,2}]$$

A.4 Estimation of current rating

A.4.1 General

In establishing the estimated continuous current, the following should be taken into consideration.

A.4.2 Maximum temperature rise

Since the calculations are based on the average temperature rise, the following relation is used to determine the maximum temperature rise of the conductor relative to the average conductor temperature rise:

$$\delta\theta_{mc} = (I_s/I_r)^2 \times (\Delta\theta_{mco} - \Delta\theta_{co})$$

Therefore, the maximum temperature rise $\Delta\theta_{mc}$ of the conductor is given by:

$$\Delta\theta_{mc} = \Delta\theta_c + \delta\theta_{mc}$$

The maximum temperature rise $\delta\theta_{me}$ of the enclosure is found in exactly the same way.

A.4.3 Heat input

The influence of the adjacent phases may be taken into account for the evaluation of external heat input.

A.4.3.1 Estimated internal dissipation

The internal dissipation of the conductor for the required situation is given by:

$$P_c = (I_s/I_r)^2 \times P_{c0} [1 + \alpha_c \times (\Delta\theta_c - \Delta\theta_{c0})]$$

The dissipation of the enclosure for the required situation is given by:

$$P_e = (I_s/I_r)^2 \times P_{e0} [1 + \alpha_e \times (\Delta\theta_e - \Delta\theta_{e0})]$$

NOTE When the lay-out of the installation is different (e.g. different phase distance of single-phase equipment or different earthing) the calculation of the dissipation is adjusted accordingly.

A.4.3.2 External heat input

Other external heat sources should be taken into account such as solar radiation, influence of adjacent phases, etc. In the following, their effect is designated by the symbol P_s .

A.4.4 Thermal resistances

A.4.4.1 Internal thermal resistance

The internal thermal resistance T_{ce} between conductor and enclosure may be calculated according to the formula given in A.4.5. The calculated thermal coefficient may be used.

A.4.4.2 External thermal resistance

The external thermal resistance T_e of the enclosure to the environment, for an installation in free air, is given in A.4.5, including the thermal coefficient. In this case, the influence of wind, etc., is neglected.

The external thermal resistance T_e for other situations may be determined according to IEC 60287-3-1 or other relevant literature.

NOTE The external thermal resistance is the total thermal resistivity of the enclosure to the environment.

A.4.5 Estimated maximum temperature rise

The estimated average temperature rise of the enclosure is defined

$$\Delta\theta_e = T_e \times (n \times P_c + P_e + P_s)$$

The maximum temperature rise of the enclosure is then given by:

$$\Delta\theta_{me} = \Delta\theta_e + \delta\theta_{me}$$

and the maximum temperature rise of the conductor is given by the following:

$$\Delta\theta_{mc} = \Delta\theta_e + \delta\theta_{mc} + T_{ce} \times P_c$$

A.4.6 Permissible temperature rises

The temperature rise of any point of the GIL (conductor, enclosure, tunnel, etc.) may be in accordance with the allowed temperature rise of the relevant IEC standard.

A.4.7 Estimated continuous current

The estimated continuous current is defined by the simultaneous solution of the relations and premises given in the subclauses of this annex.

A.4.8 Informal documents

For more information, see reference [5] in the Bibliography.

Annex B **(informative)**

Earthing

B.1 General

The earthing system is designed to ensure that no danger to persons or damage to equipment occurs under normal or abnormal operating conditions due to hazardous potential differences.

B.2 Safe limits on potential rise

The design of the earthing system should take into account potential rises due to fault currents, high-frequency currents associated with transient enclosure voltage (see below) and, for some types of bonding, standing voltages (see below).

Acceptable values for touch potentials, step potentials and transferred potentials for the safety of persons should be determined with reference to IEC/TS 60479-1 and IEC/TS 60479-2. Attention is drawn to further limits on potential rise (standing voltages, induced voltages) that may be imposed by local regulations.

B.3 Enclosures

A GIL is contained within a conducting enclosure nominally at, or near, ground potential.

B.4 Earth electrodes

An earth electrode provides a low-impedance path to earth for both fault currents and high-frequency currents associated with transient enclosure voltage (see below).

The earth electrode design should take into account the maximum ground fault current and duration at that position in the system and the soil resistivity so that hazardous potential differences do not occur.

The earth electrode cross-sectional area should be chosen to accommodate the maximum ground fault current and duration at that position in the system within an acceptable temperature rise.

The design of any joints should take into account the maximum ground fault current and duration at that position in the system.

The earth electrode design should take into account the mechanical stresses that may occur during installation and during fault conditions.

The earth electrode material should be resistant to corrosion.

B.5 Conductors of earthing system

The conductors of the earthing system may be required to carry both fault currents and high-frequency currents associated with transient enclosure voltages (see below). In some cases conductors will carry zero sequence currents or circulating power-frequency currents.

The conductor design should take into account all currents to be carried so that hazardous potential differences do not occur.

The conductors should be wide (typically greater than 50 mm in width), kept as short as possible and as free from changes in direction as possible to achieve a low inductance. Sharp bends in the conductors should be avoided.

The conductor cross-sectional area should be chosen to accommodate any current to be carried within an acceptable temperature rise.

The design of any joint should take into account all currents to be carried.

The conductor design should take into account the mechanical stresses that may occur during fault conditions.

B.6 Earth continuity

Electrical continuity between the earthing systems at either end of the transmission line route is necessary to provide a low impedance path for zero sequence currents.

Where it is not possible to use the enclosures to provide adequate earth continuity, a separate earth continuity conductor will be necessary.

B.7 Induced voltages

The earthing system should be designed to avoid large ground currents (which is not the enclosure current during normal operation) flowing as these may induce hazardous voltages in neighbouring communications circuits, pipelines, etc., possibly belonging to other authorities.

B.8 Transient enclosure voltage

Events such as switching (particularly disconnector operation), fault conditions, lightning strokes and operation of surge arresters generate fast fronted transients. Under such conditions, discontinuities in enclosures (e.g. where an insulating flange forms an essential part of the structure, or at gas to air bushings) will allow high-frequency currents to couple out and propagate on the outside of the enclosures giving rise to transient enclosure voltages. Precautions are taken in the design of the earthing system to limit the effects of transient enclosure voltages.

B.9 Non-linear resistors

To protect against the effects of transient enclosure voltages, protective devices (non-linear resistors) should be installed where the ends of enclosures are not connected to earth.

The rated voltage of the devices should be coordinated with standing voltages induced by rated and short-circuit current (see B.10). The devices should have adequate energy absorption and high-frequency response.

They should be arranged to give a low-inductance connection by minimizing the length of the connecting leads and connecting a number of devices in parallel.

B.10 Bonding and earthing

B.10.1 General

It is envisaged that most GIL installations will be solidly bonded and earthed at both ends. However where other bonding methods are used such as single point bonding or cross-bonding, additional precautions will need to be taken in the design of the earthing system in order to manage the effects of standing voltages and induced voltages and currents.

The enclosure may need to be earthed at additional positions along the route to reduce the earth potential rise under internal fault conditions.

Where the three phases of a transmission line are contained within a single enclosure, the enclosure may be earthed at both ends of the transmission line route. The enclosure will normally provide adequate earth continuity between the two ends of the route and a separate earth continuity conductor will be unnecessary.

The enclosures may be bonded and earthed at one end and insulated from earth at the other (end point bonding) or bonded and earthed at the mid-point and insulated from earth at the two ends (mid-point bonding). The transmission line may consist of a number of elementary sections, each single-point bonded.

To protect against the effects of transient voltages, protective devices (non-linear resistors) are connected at the ends of elementary sections where the enclosures are insulated from earth.

B.10.2 Cross-bonding

In a cross-bonded system, the enclosures are connected in series at the end of each elementary section in phase rotation, so that the e.m.f. induced along the enclosures tend to sum to zero after three elementary sections. The enclosure voltage is therefore controlled and circulating currents are virtually eliminated. However, eddy currents will generally be induced in the enclosure walls and these will contribute to the total heat dissipation of the transmission line.

The enclosures may be solidly bonded and earthed at the ends of a transmission line and continuously cross-bonded throughout its length (continuous cross-bonding) or solidly bonded and earthed at the ends of a number of major sections, each consisting of three cross-bonded minor sections (sectionalized cross-bonding).

To protect against the effects of transient voltages, protective devices (non-linear resistors) are connected at the ends of elementary sections where the enclosures are insulated from earth.

Where the earth resistance at solidly bonded positions is high, a separate earth continuity conductor may be necessary in order to prevent the ratings of protective devices being exceeded under internal fault conditions.

B.11 Application to directly buried installations

Where an installation is directly buried, the design of the earthing system shall accommodate the requirements of corrosion protection as stated under 5.12 (see Figure B.1).

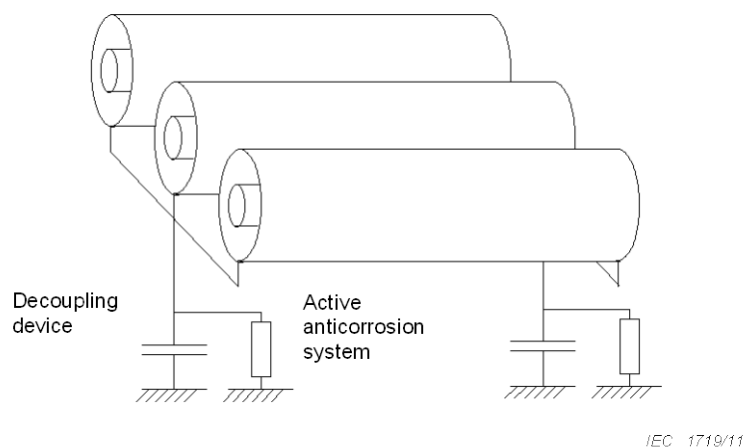


Figure B.1 – Example of earthing system together with active anti-corrosion system in the case of solid bonding of the enclosure at both ends

The design of the earthing system should be coordinated with the insulation level of the corrosion protection coating.

Removable links should be provided to allow electrical testing of the passive corrosion protection as stated under 6.104.

The design of the earthing system and the active corrosion protection should be coordinated so that no damage results to the active corrosion system from currents flowing from the enclosures to earth.

B.12 Informal documents

For more information, see references [3] and [4] in the Bibliography.

Annex C (normative)

Long-term testing of buried installations

C.1 Assessment of long-term behaviour

C.1.1 General

The points that need to be considered to assess long-term behaviour are:

- the thermomechanical performance of the assembly;
- the corrosion protection of the enclosures.

C.1.2 Thermomechanical performance

Thermomechanical forces, unless properly accounted for, can result in mechanical damage to the GIL and possible rupture of the enclosure. Therefore, whichever device is employed for counteracting the effects of thermal expansion and contraction, especially for the enclosures, it needs to be evaluated under buried condition. The length of the test installation needs to be sufficient to ensure that any thermomechanical movement is representative of what might occur in service.

NOTE Performance of the backfill material

Evaluation of the soil over the complete GIL installation could prove difficult unless a backfill with known properties is used. It is assumed that normal ground materials will have a dried-out thermal resistivity value at a temperature between 50 °C and 60 °C and a non-dried out value if the temperature is below this. These figures are used in the rating calculations detailed in Annex A. Provided that the thermal resistivity values are known, the ground temperatures and hence system rating can be calculated allowing for dried out values where applicable.

C.1.3 Corrosion protection of the enclosures

It is important that the enclosure protective coating is not penetrated during service. The performance of the coating can be evaluated by either long-term water immersion tests or by long-term burial test in a wet soil condition. During this time, the GIL should undergo heat cycles to see the effect of temperature cycles on the migration of water. Deterioration in the coating can be detected by regular application of a test voltage and measurement of the leakage current that flows.

C.2 Summary of long-term tests

Development tests shall be completed by the manufacturer before long-term tests are undertaken. The purpose of these tests is to identify the long-term performance of the complete GIL system and need only be carried out once, unless there is a substantial change in the GIL system concerning material, process and design. The test arrangement should consist of between 50 m and 100 m of GIL including auxiliary equipment (gas monitoring, partial discharge detection and pressure relief devices). At least one type of each component to be used in the system should be tested and the test arrangement should be representative of an installation design. The long-term tests should be undertaken over a twelve-month period.

The definition of the test procedure is under consideration. The following is proposed for guidance.

The following test should be carried out before starting and after the long duration tests:

- a) temperature rise measurement (in accordance with 4.4.2) of external enclosure walls and at set distances within the backfill material;
- b) measurement of the main circuit resistance;
- c) partial discharge levels within the GIL;
- d) dielectric withstand test;
- e) gas leakage rate;
- f) on completion of the tests, a voltage test to breakdown may be performed.

Long duration tests may include:

- long-term thermal cycling;
Subject the busbars and any expansion device to thermomechanical forces.
- corrosion protection performance;
This is to be evaluated under thermal cycling and will include the complete arrangement and all the auxiliary equipment.
- backfill performance;
This shall be carried out if the performance of the backfill is not known or cannot be guaranteed.

Bibliography

- [1] IEC 60071-1, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*
 - [2] IEC 60287-1-1, *Electric cables – Calculation of the current rating – Part 1-1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses – General*
 - [3] IEC/TS 60479-1:2005, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects*
 - [4] IEC/TS 60479-2:2007, *Effects of current on human beings and livestock – Part 2: Special aspects*
 - [5] IEC/TR 60943: 1998, *Guidance concerning the permissible temperature rise for parts of electrical equipment, in particular for terminals*
Amendment 1 (2008)
 - [6] CIGRE Brochure 163:2000, *Guide for SF₆ gas mixtures*
 - [7] CIGRE Brochure 260:2004, *N₂/SF₆ mixtures for gas insulated systems*
 - [8] CIGRE Brochure 360:2008, *Insulation co-ordination related to internal insulation of gas insulated systems with SF₆ and N₂/SF₆ gas mixtures under AC condition*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	59
1 Généralités	61
1.1 Domaine d'application.....	61
1.2 Références normatives	61
2 Conditions normales et spéciales de service	62
2.101 Installation à l'air libre	62
2.102 Installation enterrée	63
2.103 Installation en tunnel, puits ou situations similaires.....	63
3 Termes et définitions	63
4 Caractéristiques assignées	65
4.1 Tension assignée (U_r)	65
4.2 Niveau d'isolement assigné.....	65
4.3 Fréquence assignée (f_r).....	65
4.4 Courant assigné en service continu et échauffement	65
4.5 Courant de courte durée admissible assigné (I_k).....	66
4.6 Valeur de crête du courant admissible assigné (I_p)	66
4.7 Durée de court-circuit assignée (t_k)	66
4.8 Tension assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires et de commande (U_a)	67
4.9 Fréquence assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires.....	67
4.10 Pression assignée d'alimentation en gaz comprimé pour systèmes à pression entretenue	67
4.11 Niveaux assignés de remplissage pour l'isolement et/ou la manœuvre	67
5 Conception et construction.....	67
5.1 Exigences pour les liquides utilisés dans les LIG.....	67
5.2 Exigences pour les gaz utilisés dans les LIG	67
5.3 Raccordement à la terre	68
5.4 Equipements auxiliaires et de commande	68
5.5 Manœuvre dépendante à source d'énergie extérieure	68
5.6 Manœuvre à accumulation d'énergie	69
5.7 Manœuvre indépendante manuelle ou manœuvre indépendante à source d'énergie extérieure (manœuvre indépendante sans accrochage mécanique).....	69
5.8 Fonctionnement des déclencheurs.....	69
5.9 Dispositifs de verrouillage et de surveillance de basse et haute pression.....	69
5.10 Plaques signalétiques	69
5.11 Dispositifs de verrouillage	70
5.12 Indicateur de position.....	70
5.13 Degré de protection procurés par les enveloppes	70
5.14 Lignes de fuite pour les isolateurs d'extérieur.....	71
5.15 Etanchéité au gaz et au vide	71
5.16 Etanchéité au liquide	72
5.17 Risque de feu (Inflammabilité)	72
5.18 Compatibilité électromagnétique (CEM)	72
5.19 Emission de rayons X	72
5.20 Corrosion	72
5.101 Défauts internes	73

5.102	Enveloppes	74
5.103	Cloisons et cloisonnement	75
5.104	Tronçons d'un système de LIG	76
5.105	Décharge de pression	76
5.106	Compensation de la dilatation thermique	76
5.107	Vibrations externes	77
5.108	Charpentes pour les LIG non enterrées	77
6	Essais de type	78
6.1	Généralités	78
6.2	Essais diélectriques	79
6.3	Essai de tension de perturbation radioélectrique	80
6.4	Mesurage de la résistance des circuits	80
6.5	Essais d'échauffement	81
6.6	Essais au courant de courte durée admissible et à la valeur de crête du courant admissible	81
6.7	Vérification de la protection	82
6.8	Essais d'étanchéité	82
6.9	Essais de compatibilité électromagnétique (CEM)	82
6.10	Essais complémentaires sur les circuits auxiliaires et de commande	83
6.11	Procédure d'essai des rayonnements X pour les ampoules à vide	83
6.101	Epreuves des enveloppes	83
6.102	Essais destructifs sous pression	83
6.103	Essais anticorrosion pour les installations enterrées	83
6.104	Essais spéciaux mécaniques des contacts glissants	84
6.105	Essais en cas d'arc dû à un défaut interne	85
6.106	Essais de protection contre les intempéries	85
7	Essais individuels de série	86
7.1	Essais diélectriques du circuit principal	86
7.2	Essais diélectriques des circuits auxiliaires et de commande	86
7.3	Mesurage de la résistance du circuit principal	86
7.4	Essai d'étanchéité	86
7.5	Contrôles visuels et du modèle	86
7.101	Mesurage des décharges partielles	86
7.102	Essais de pression des enveloppes faites en usine	86
8	Guide pour le choix de la LIG	87
8.101	Capacité de surcharge de courte durée	87
8.102	Refroidissement forcé	87
9	Renseignements à donner dans les appels d'offres, les soumissions et les commandes	87
9.101	Renseignements à donner dans les appels d'offres et les commandes	87
9.102	Renseignements à donner avec les soumissions et la documentation contractuelle	89
10	Transport, stockage, installation, manœuvre et maintenance	90
10.1	Conditions à respecter pendant le transport, le stockage et l'installation	90
10.2	Installation	90
10.3	Fonctionnement	91
10.4	Maintenance	95
11	Sécurité	96
11.1	Précautions prises par les constructeurs	96

11.2	Précautions devant être prises par les utilisateurs.....	96
11.3	Aspects électriques	96
11.4	Aspects mécaniques.....	96
11.5	Aspects thermiques	97
11.101	Aspects liés à la maintenance.....	97
12	Influence du produit sur l'environnement	97
	Annexe A (informative) Evaluation du courant permanent	98
	Annexe B (informative) Mise à la terre	103
	Annexe C (normative) Essais de longue durée des installations enterrées	107
	Bibliographie	109
	Figure B.1 – Exemple de schéma de mise à la terre avec système anticorrosion actif dans le cas d'une mise en court-circuit et à la terre de l'enveloppe aux deux extrémités	106
	Table 1 – Second chiffre caractéristique du codage IP	71

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

**Partie 204: Lignes de transport rigides à isolation gazeuse
de tension assignée supérieure à 52 kV**

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 brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La CEI 62271-204, a été établie par le sous-comité 17C: Ensemble d'appareillage à haute tension, du comité d'études 17 de la CEI: Appareillage.

La présente norme annule et remplace la CEI/TS 61640:1998. Elle constitue une révision technique.

Par rapport à l'édition précédente, la présente édition inclut les principales modifications techniques suivantes:

- mise à jour conforme aux CEI 62271-1:2007 et 62271-203 et alignement des caractéristiques assignées de tension et des tensions d'essai;
- ajout d'informations pour l'étanchéité au gaz et la protection contre la corrosion.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Projet de comité	Rapport de vote
17C/510/FDIS	17C/520/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette Norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Cette norme doit être lue conjointement à la CEI 62271-1:2007, à laquelle elle fait référence et qui est applicable sauf spécification particulière. Pour faciliter le repérage des exigences correspondantes, cette norme utilise une numérotation identique des articles et des paragraphes à celle de la CEI 62271-1. Les modifications à ces articles et paragraphes sont indiquées sous la même numérotation, alors que les paragraphes additionnels sont numérotés à partir de 101. Il convient également de lire la présente Norme Internationale conjointement à la CEI 62271-203¹.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 62271, présentées sous le titre général *Appareillage à haute tension*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI 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.

¹ A publier.

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 204: Lignes de transport rigides à isolation gazeuse de tension assignée supérieure à 52 kV

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62271 est applicable aux lignes de transport rigides haute tension à isolation gazeuse (LIG) dont l'isolation est réalisée, au moins partiellement, par un gaz isolant non corrosif autre que l'air à la pression atmosphérique, pour un courant alternatif de tension assignée supérieure à 52 kV, pour des fréquences de service inférieures ou égales à 60 Hz.

La présente Norme internationale est destinée à être utilisée lorsque les dispositions de la CEI 62271-203 ne couvrent pas l'application des LIG (voir NOTE 3).

A chaque extrémité de la ligne de transport à isolation gazeuse HT, un élément spécifique peut être utilisé pour la connexion entre la ligne de transport à isolation gazeuse HT et d'autres matériels tels que traversées, transformateurs ou bobines d'inductance, boîtes à câble, parafoudres sous enveloppe métallique, transformateurs de tension ou postes sous enveloppe métallique, auxquels s'applique leur propre spécification.

La ligne de transport à isolation gazeuse HT est, sauf spécification contraire, prévue pour être utilisée dans les conditions normales de service.

NOTE 1 Dans la présente Norme internationale, les «lignes de transport HT à isolation gazeuse» sont désignées par l'abréviation «LIG».

NOTE 2 Dans la présente Norme internationale, le mot «gaz» signifie gaz ou mélange gazeux, selon la définition du constructeur.

NOTE 3 Des exemples d'applications LIG sont donnés:

- lorsque toute ou partie de la ligne de transport à isolation gazeuse HT est directement enterrée; ou
- lorsque la ligne de transport à isolation gazeuse HT est située, entièrement ou partiellement, dans une zone accessible au public; ou
- lorsque la ligne de transport à isolation gazeuse HT est longue et que la longueur type du compartiment gazeux dépasse la valeur courante associée à la technologie des postes sous enveloppe métallique.

1.2 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 60050-151, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

CEI 60050-441:1984, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 441: Appareillage et fusibles*

CEI 60060-1, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et exigences générales*

CEI 60068-1, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et guide*

CEI 60229:2007, *Câbles électriques – Essais sur les gaines extérieures extrudées avec fonction spéciale de protection*

CEI 60270, *Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles*

CEI 60287-3-1:1995, *Câbles électriques – Calcul du courant admissible – Partie 3-1: Sections concernant les conditions de fonctionnement – Conditions de fonctionnement de référence et sélection du type de câble*

CEI 60376, *Lignes directrices relatives au contrôle et au traitement de l'hexafluorure de soufre (SF₆) prélevé sur le matériel électrique et spécification en vue de sa réutilisation*

CEI 60480, *Guide relatif au contrôle de l'hexafluorure de soufre (SF₆) prélevé sur le matériel électrique*

CEI 60529:1989, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

CEI 62271-1:2007 *Appareillage à haute tension – Partie 1: Spécifications communes*

CEI 62271-203:2011, *Appareillage à haute tension – Partie 203: Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tensions assignées supérieures à 52 kV²*

CEI 62271-303, *Appareillage à haute tension – Partie 303: Utilisation et manipulation de l'hexafluorure de soufre (SF₆)*

Guide ISO/CEI 51, *Aspects liés à la sécurité – Principes directeurs pour les inclure dans les normes*

2 Conditions normales et spéciales de service

L'article 2 de la CEI 62271-1 est applicable, avec le complément suivant:

Quelle que soit l'altitude, les caractéristiques diélectriques de l'isolation interne sont identiques à celles qui sont mesurées au niveau de la mer. Pour cette isolation, par conséquent, aucune exigence n'est applicable concernant l'altitude.

Les conditions normales de service applicables à une LIG dépendent des conditions d'installation, décrites en 2.101, 2.102 et 2.103. Lorsque plusieurs modes d'installation sont employés, les paragraphes qui conviennent doivent s'appliquer à chaque tronçon de la LIG.

2.101 Installation à l'air libre

Pour la détermination des caractéristiques assignées des LIG dans le cas d'une installation à l'air libre, les conditions normales de service de la CEI 62271-1 doivent s'appliquer. Les conditions types assignées sont aussi valables dans le cas des tranchées ouvertes.

Si les conditions réelles de service diffèrent des conditions normales de service, les caractéristiques assignées doivent être adaptées en conséquence.

Sauf spécification contraire de l'utilisateur, les conditions spéciales de service définies dans la CEI 62271-1 doivent s'appliquer.

² A publier.

2.102 Installation enterrée

Des valeurs typiques de résistivité thermique et de température du sol sont données ci-après:

- 1,2 K m/W, et 20 °C en été;
- 0,85 K m/W, et 10 °C en hiver.

A titre de guide, les valeurs données dans la CEI 60287-3-1, peuvent être prises en compte.

NOTE 1 Pour des lignes de transport longues (plusieurs kilomètres), il convient également d'envisager des mesures de résistivité du sol sur site.

NOTE 2 L'utilisation d'un remblai contrôlé avec une résistivité thermique de sol donnée peut également être envisagée.

NOTE 3 Un risque d'emballement thermique existe si le sol environnant la LIG enterrée s'assèche. Pour éviter l'assèchement du sol, on considère généralement comme acceptable une température maximale de l'enveloppe en service comprise entre 50 °C et 60 °C.

La profondeur de pose doit être définie par accord entre constructeur et utilisateur. La détermination de la profondeur de pose doit prendre en compte les contraintes thermomécaniques, les exigences de sécurité et les contraintes réglementaires locales.

2.103 Installation en tunnel, puits ou situations similaires

Un système de refroidissement forcé constitue une méthode adaptée, utilisée dans le cas de tunnels, puits ou installations similaires.

Dans le cas de longs puits verticaux, de tunnels inclinés ou de tronçons de ces tunnels, il est nécessaire de veiller aux gradients de température et de densité, particulièrement lorsqu'un mélange gazeux est employé.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 60050-441, la CEI 60050-151, la CEI 62271-1, ainsi que les suivants s'appliquent.

3.101

zone accessible au public

zone dont l'accès n'est pas limité au personnel autorisé

NOTE On considère qu'une LIG posée en surface à l'extérieur d'un poste électrique est "installée dans une zone accessible au public".

3.102

lignes de transport à isolation gazeuse

LIG

lignes sous enveloppe métallique dans lesquelles l'isolation est obtenue, au moins partiellement, par un gaz isolant autre que l'air à la pression atmosphérique, et dont l'enveloppe externe est destinée à être mise à la terre

3.103

enveloppe LIG

partie d'une ligne à isolation gazeuse contenant le gaz isolant dans les conditions prescrites nécessaires pour conserver avec sûreté le niveau d'isolement assigné, protégeant l'équipement contre les effets extérieurs et procurant un haut degré de protection pour les personnes

3.104

compartiment

partie d'une ligne à isolation gazeuse entièrement fermée à l'exception des ouvertures nécessaires aux connexions et à la commande

3.105

cloison

partie d'une ligne à isolation gazeuse séparant un compartiment des autres

3.106

circuit principal

toutes les parties conductrices d'une ligne à isolation gazeuse qui font partie d'un circuit destiné à transporter l'énergie électrique

[CEI 60050-441:1984, 441-13-02, modifiée]

3.107

température de l'air ambiant (de la ligne à isolation gazeuse)

température, déterminée dans des conditions prescrites, de l'air qui entoure l'enveloppe LIG externe de la ligne à isolation gazeuse dans le cas de la pose en surface, tranchées ouvertes ou tunnels

[CEI 60050-441:1984, 441-11-13, modifiée]

3.108

température de calcul (de l'enveloppe)

température maximale pouvant être atteinte par l'enveloppe dans les conditions de service

3.109

pression de calcul (de l'enveloppe)

pression relative utilisée pour déterminer le calcul de l'enveloppe

NOTE Elle est au moins égale à la pression maximale dans l'enveloppe à la température maximale pouvant être atteinte par le gaz utilisé comme isolant, dans les conditions de service maximales spécifiées.

3.110

pression de calcul (de la cloison)

pression utilisée pour déterminer le calcul de la cloison

3.111

unité de séparation

unité destinée à séparer les compartiments gazeux, principalement à des fins d'essais ou de maintenance sur site

3.112

décharge disruptive

phénomènes associés à la défaillance de l'isolation sous l'action d'une contrainte électrique, dans lesquels la décharge court-circuite complètement l'isolation en essai, réduisant la tension entre électrodes à une valeur nulle ou presque nulle

NOTE 1 Ce terme s'applique à la rupture des diélectriques solides, liquides ou gazeux et à leurs combinaisons.

NOTE 2 Une décharge disruptive dans un diélectrique solide occasionne la perte définitive de la rigidité diélectrique (isolation non auto-régénératrice); dans les diélectriques liquides ou gazeux, cette perte peut n'être que momentanée (isolation auto-régénératrice).

NOTE 3 Le terme «amorçage» est utilisé lorsque la décharge disruptive se produit dans un diélectrique gazeux ou liquide. Le terme «perforation» est utilisé lorsque la décharge disruptive longe la surface d'un diélectrique solide entouré d'un gaz ou d'un liquide isolant. Le terme «perforation» est utilisé lorsque la décharge disruptive se produit à travers un diélectrique solide.

3.113**tronçon de LIG**

un tronçon de LIG est défini par des exigences opérationnelles ou autres telles que la longueur maximale pour l'essai diélectrique ou la séquence d'installation

NOTE 1 Il peut être constitué d'un ou plusieurs compartiments.

NOTE 2 Les tronçons peuvent être isolés par des unités de séparation.

4 Caractéristiques assignées

L'article 4 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable, à l'exception de ce qui suit.

Les caractéristiques assignées d'une LIG sont les suivantes:

- a) tension assignée (U_r) et nombre de phases;
- b) niveau d'isolement assigné;
- c) fréquence assignée (f_r);
- d) courant assigné en service continu (I_r) (pour les circuits principaux);
- e) courant de courte durée admissible assigné (I_k) (pour les circuits principaux et les circuits de mise à la terre);
- f) valeur de crête du courant admissible assigné (I_p) (pour les circuits principaux et les circuits de mise à la terre);
- g) durée de court-circuit assignée (t_k);
- h) valeurs assignées des matériels faisant partie de la LIG, y compris l'équipement auxiliaire;
- i) pression assignée de remplissage du gaz isolant.

4.1 Tension assignée (U_r)

Le paragraphe 4.1 de la CEI 62271-203 est applicable.

4.2 Niveau d'isolement assigné

Le paragraphe 4.2 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant:

Les niveaux d'isolement assignés doivent être choisis dans la CEI 62271-203 sur la base de d'une étude de coordination d'isolement spécifique à l'installation, de façon à prendre en compte des paramètres tels que les surtensions, les réflexions de tension, etc. Il est recommandé d'effectuer des études de coordination d'isolement spécifiques pour chaque installation.

Bien que l'on puisse, dans une large mesure, éviter des défauts d'arc internes par le choix d'un niveau d'isolement convenable, il convient d'envisager des moyens de limitation des surtensions externes (parafoudres, par exemple) à chaque extrémité de l'installation.

4.3 Fréquence assignée (f_r)

Le paragraphe 4.3 de la CEI 62271-1 est applicable.

4.4 Courant assigné en service continu et échauffement**4.4.1 Courant assigné en service continu (I_r)**

Le paragraphe 4.4.1 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant:

Le courant assigné en service continu est défini pour un seul circuit triphasé installé en surface pour une température de l'air ambiant de 40 °C. Pour les autres conditions d'installation, voir l'Annexe A.

4.4.2 Echauffement

Le paragraphe 4.4.2 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant:

La température de l'enveloppe ne doit pas dépasser la température maximale admissible pour le revêtement anticorrosion, le cas échéant.

L'échauffement des matériels contenus dans la LIG qui font l'objet de normes hors du domaine d'application de la CEI 62271-1 ne doit pas dépasser les limites d'échauffement autorisées par la norme particulière à ces matériels.

Pour les installations à l'air libre, en tunnel et dans des puits, la température maximale de l'enveloppe ne doit pas dépasser 80 °C. Pour les parties qui sont normalement touchées en fonctionnement, la température ne doit pas dépasser 70 °C. Il est fait référence à l'Article 11 de la présente norme.

Pour les installations directement enterrées, la température maximale de l'enveloppe doit être limitée de manière à éviter l'assèchement du sol. Une température comprise entre 50 °C et 60 °C est généralement prise en compte.

4.4.3 Points particuliers du Tableau 3

Le paragraphe 4.4.3 de la CEI 62271-1 est applicable.

4.4.101 Exigences particulières pour l'échauffement

Lorsque le diélectrique employé est un gaz non oxydant, les limites de température et d'échauffement spécifiées au Tableau 3 de la CEI 62271-1 pour le SF₆ doivent être utilisées.

Lorsque le diélectrique employé est de l'air sous pression, les limites de température et d'échauffement spécifiées au Tableau 3 de la CEI 62271-1 pour l'air doivent être utilisées.

Lorsque le diélectrique employé est un gaz oxydant (autre que l'air), des limites de température et d'échauffement plus basses doivent être définies par accord entre constructeur et utilisateur.

4.5 Courant de courte durée admissible assigné (I_k)

Le paragraphe 4.5 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant:

Lors du choix de la valeur du courant de courte durée admissible assigné pour une installation, ou pour une partie d'une installation, il peut être tenu compte du fait que le courant maximal de défaut dans un circuit décroît à mesure que la distance depuis le poste augmente.

4.6 Valeur de crête du courant admissible assigné (I_p)

Le paragraphe 4.6 de la CEI 62271-1 est applicable.

4.7 Durée de court-circuit assignée (t_k)

Le paragraphe 4.7 de la CEI 62271-1 est applicable.

4.8 Tension assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires et de commande (U_a)

Le paragraphe 4.8 de la CEI 62271-1 est applicable.

4.9 Fréquence assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires

Le paragraphe 4.9 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant:

La fréquence assignée d'alimentation des circuits auxiliaires est la fréquence pour laquelle sont déterminées les conditions de fonctionnement et d'échauffement de ces dispositifs et de ces circuits.

4.10 Pression assignée d'alimentation en gaz comprimé pour systèmes à pression entretenue

Le paragraphe 4.10 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

4.11 Niveaux assignés de remplissage pour l'isolement et/ou la manœuvre

Le paragraphe 4.11 de la CEI 62271-1 est applicable.

5 Conception et construction

L'article 5 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable, à l'exception de ce qui suit.

Tout matériel qui nécessite une maintenance préventive systématique ou des essais de contrôle doit être aisément accessible.

Les LIG doivent être conçues de telle manière que les opérations normales d'exploitation, de contrôle et de maintenance, puissent être effectuées sans risque, y compris la vérification de la séquence des phases après installation et après extension.

La conception de l'équipement doit être telle que les efforts mécaniques provoqués par toutes les charges applicables, comme par exemple la dilatation thermique, le déplacement admissible des fondations, les vibrations externes, les tremblements de terre, le chargement des sols, le vent et la glace, ne réduisent pas les caractéristiques assignées de l'équipement.

Tous les matériels de construction et de caractéristiques identiques susceptibles de nécessiter un remplacement doivent être interchangeables.

5.1 Exigences pour les liquides utilisés dans les LIG

Le paragraphe 5.1 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

5.2 Exigences pour les gaz utilisés dans les LIG

Le paragraphe 5.2 de la CEI 62271-1 est applicable.

Si un mélange gazeux est utilisé, il convient que le constructeur fournisse des informations relatives aux caractéristiques du gaz, telles que la rigidité diélectrique, le rapport de mélange, le procédé de mélange et la pression de remplissage.

NOTE Se référer aux références [6], [7] et [8] de la Bibliographie.

5.3 Raccordement à la terre

Le paragraphe 5.3 de la CEI 62271-1 est applicable, à l'exception de ce qui suit.

5.3.101 Mise à la terre des circuits principaux

Pour assurer la sécurité lors de travaux de maintenance, toutes les parties des circuits principaux auxquelles il est nécessaire ou prévu d'accéder doivent pouvoir être mises à la terre. De plus, il doit être possible, après ouverture de l'enveloppe, de raccorder des prises de terre au conducteur pendant la durée des travaux.

La mise à la terre peut être réalisée par

- a) des sectionneurs de terre avec un pouvoir de fermeture égal à la valeur de crête du courant admissible assigné, si l'on n'a pas la certitude de la mise hors tension du circuit raccordé;
- b) des sectionneurs de terre sans pouvoir de fermeture ou avec un pouvoir de fermeture inférieur à la valeur de crête du courant admissible assigné, si l'on a la certitude de la mise hors tension du circuit raccordé;
- c) des dispositifs amovibles de mise à la terre, seulement après accord entre constructeur et utilisateur.

Chaque partie dont la déconnexion est possible doit pouvoir être mise à la terre.

Il est nécessaire de veiller à ce que le dispositif de mise à la terre initiale soit capable de dissiper le niveau maximal de la charge susceptible d'être piégée sur le circuit isolé.

Lorsque les sectionneurs de terre font partie du poste raccordé à la ligne de transport, l'utilisateur doit garantir qu'ils respectent les points a) à c) ci-dessus.

5.3.102 Mise à la terre de l'enveloppe

Les enveloppes doivent pouvoir être connectées à la terre. Toutes les parties métalliques prévues pour être mises à la terre et ne faisant pas partie d'un circuit principal ou auxiliaire doivent être connectées à la terre. Pour l'interconnexion des enveloppes, châssis, etc., l'assemblage (par exemple par boulonnage ou soudage) est considéré comme suffisant pour assurer la continuité électrique. Si la fixation est réalisée par boulonnage, des dispositions doivent être prévues afin de permettre un contact électrique adéquat. Dans le cas contraire, le joint mécanique doit être shunté par une connexion électrique appropriée, telle que des conducteurs en cuivre ou aluminium de section adaptée.

La continuité des circuits de mise à la terre doit être assurée compte tenu des sollicitations thermiques et électriques causées par les courants susceptibles de les traverser.

La plupart des installations LIG sont prévues pour que leurs enveloppes soient reliées entre elles et mises à la terre à chaque extrémité. La conception particulière a une influence sur la dissipation thermique, les tensions en régime permanent et le champ magnétique externe. Ceux-ci sont considérés à l'Annexe B.

La conception de la mise à la terre de l'enveloppe doit être compatible avec les mesures de protection contre la corrosion pour les LIG enterrées.

5.4 Equipements auxiliaires et de commande

Le paragraphe 5.4 de la CEI 62271-1 est applicable.

5.5 Manœuvre dépendante à source d'énergie extérieure

Le paragraphe 5.5 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

5.6 Manœuvre à accumulation d'énergie

Le paragraphe 5.6 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

5.7 Manœuvre indépendante manuelle ou manœuvre indépendante à source d'énergie extérieure (manœuvre indépendante sans accrochage mécanique)

Le paragraphe 5.7 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

5.8 Fonctionnement des déclencheurs

Le paragraphe 5.8 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

5.9 Dispositifs de verrouillage et de surveillance de basse et haute pression

Le paragraphe 5.9 de la CEI 62271-1 est applicable, à l'exception de ce qui suit.

Des moyens doivent être fournis pour la surveillance de la pression ou de la densité du gaz, en prenant en compte les normes de la CEI qui s'appliquent. Il est recommandé que des signaux soient délivrés lorsque la pression du gaz isolant a baissé jusqu'à la pression d'alarme pour l'isolement et jusqu'à la pression minimale fonctionnelle pour l'isolement, ou augmenté jusqu'à la valeur maximale dans le cas d'un système à pression entretenue, selon la définition du constructeur.

5.10 Plaques signalétiques

Le paragraphe 5.10 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

5.10.101 Plaques signalétiques

Pour les installations extérieures, les plaques signalétiques et leurs fixations doivent être résistantes aux intempéries et à la corrosion. Il est fait référence à la CEI 62271-1 paragraphe 5.10.

Chaque extrémité de l'installation, ainsi que chaque point où des interventions sont nécessaires à l'exploitation, doivent être muni d'une plaque signalétique complète. Ces plaques signalétiques doivent contenir les renseignements suivants:

- nom du constructeur ou marque de fabrique
- désignation du type ou numéro de série
- tension assignée U_r
- tension assignée de tenue au choc de foudre³ U_p
- tension assignée de tenue au choc de manoeuvre⁴ U_s
- tension assignée de tenue à fréquence industrielle⁴ U_d
- courant assigné en service continu I_r
- courant de courte durée admissible assigné I_k
- valeur de crête du courant admissible I_p
- fréquence assignée f_r
- durée assignée de court-circuit t_k
- pression assignée pour l'isolement; pression minimale fonctionnelle pour l'isolement; pression de calcul pour les enveloppes
- nature du gaz

³ Les valeurs à utiliser pour les plaques signalétiques sont des valeurs phase-terre.

- masse du gaz contenu kg

NOTE Il n'est pas utile de faire apparaître le mot «assigné» sur les plaques signalétiques.

5.10.102 Identification du matériel

Comme les caractéristiques de différents tronçons peuvent être différentes, les enveloppes ou leur revêtement, le cas échéant, doivent être munies d'un marquage. La distance maximale entre deux marquages d'identification doit être définie par accord entre constructeur et utilisateur.

Les marquages doivent être durables et clairement lisibles, et doivent contenir les informations suivantes:

- nom du constructeur ou marque de fabrique;
- désignation du type;
- tension assignée;
- nature du gaz et pression assignée de remplissage pour l'isolement.

5.11 Dispositifs de verrouillage

Le paragraphe 5.11 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

5.12 Indicateur de position

Le paragraphe 5.12 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

5.13 Degré de protection procurés par les enveloppes

5.13.1 Protection des personnes contre l'accès aux parties dangereuses et protection du matériel contre la pénétration de corps solides étrangers (codification IP)

Le paragraphe 5.13.1 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant:

Les moyens de protection ne s'appliquent qu'aux circuits de commande et/ou auxiliaires. Le premier chiffre caractéristique doit être supérieur ou égal à 3.

5.13.2 Protection contre la pénétration d'eau (codification IP)

Lorsque les conditions de pose d'une installation conduisent à un risque de pénétration d'eau (installations enterrées, installations en tranchées, fourreau, etc.), le second chiffre caractéristique doit être spécifié. Dans ce cas, la lettre X, qui occupe la seconde position dans la désignation du Tableau 7 de la CEI 62271-1, est remplacée par un nombre selon le Tableau 1 ci-dessous:

Table 1 – Second chiffre caractéristique du codage IP

Second chiffre caractéristique	Brève description	Définition
7	Protégé contre les effets d'une immersion temporaire dans de l'eau	Une pénétration d'eau provoquant des effets nuisibles ne doit pas être possible lorsque l'enveloppe est immergée temporairement dans l'eau, dans les conditions spécifiées de pression et de durée
NOTE Dans le cas de situations plus sévères que celles qui correspondent au second chiffre caractéristique 7, il convient que la protection soit définie par accord entre constructeur et utilisateur.		

Le matériel pour l'installation à l'extérieur, muni d'une protection contre la pluie et autres conditions climatiques, doit être spécifié au moyen d'une lettre supplémentaire W placée après le second chiffre caractéristique ou après la lettre additionnelle éventuelle.

5.13.101 Degré de protection des circuits principaux

Il n'existe aucune spécification pour le circuit principal ni pour les parties qui lui sont directement raccordées, du fait de l'étanchéité au gaz des enveloppes.

5.13.102 Degré de protection des circuits auxiliaires

Les degrés de protection suivant la CEI 60529 doivent être spécifiés pour toutes les enveloppes des circuits appropriés à basse tension de commande et/ou auxiliaires.

Les degrés de protection s'appliquent aux conditions de service du matériel.

5.14 Lignes de fuite pour les isolateurs d'extérieur

Le paragraphe 5.14 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

5.15 Etanchéité au gaz et au vide

Le paragraphe 5.15 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

5.15.1 Systèmes à pression entretenue de gaz

Pas applicable au LIG.

5.15.2 Systèmes à pression autonome de gaz

Les caractéristiques d'étanchéité des systèmes à pression fermés et l'intervalle entre compléments de remplissage dans les conditions normales de service doivent être indiqués par le constructeur et doivent être cohérents avec une maintenance minimale et une philosophie d'inspection.

L'étanchéité des systèmes à pression fermés est spécifiée par le taux de fuite relatif F_{rel} de chaque compartiment; les valeurs normalisées sont:

- pour le SF₆ et les mélanges de SF₆, la valeur normalisée est de 0,5 % par an et par compartiment;
- pour les autres gaz, la valeur normalisée est de 0,5 % par an et par compartiment.

La valeur pour l'intervalle entre compléments de remplissage doit être d'au moins 10 ans pour les systèmes à SF₆ et, pour les autres gaz, il convient qu'elle soit cohérente avec les valeurs d'étanchéité. Les fuites éventuelles entre sous-ensembles ayant des pressions différentes doivent également être prises en compte. Pour le cas particulier de la maintenance d'un compartiment, les compartiments adjacents contenant du gaz sous pression, il convient que le

constructeur indique aussi le taux de fuite de gaz admissible à travers la cloison, et l'intervalle entre compléments de remplissage doit rester supérieur à un mois. Des moyens doivent être fournis pour permettre les compléments de remplissage des systèmes à gaz en toute sécurité, le matériel étant en service.

5.15.3 Systèmes à pression scellés

L'étanchéité des systèmes à pression scellés est définie par leur durée d'exploitation prévue. La durée d'exploitation prévue, concernant les valeurs du taux de fuite, doit être spécifiée par le constructeur. Les valeurs privilégiées sont 20 ans, 30 ans et 40 ans.

NOTE Pour satisfaire à l'exigence de durée d'exploitation prévue, on considère que le taux de fuite pour les systèmes SF₆ est de 0,1 % par an.

5.15.101 Cloisons internes

A la demande de l'utilisateur, pour permettre la maintenance dans un compartiment, les compartiments adjacents étant sous pression, il convient que le constructeur indique le taux de fuite de gaz admissible à travers la cloison.

5.16 Etanchéité au liquide

Le paragraphe 5.16 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

5.17 Risque de feu (Inflammabilité)

Le paragraphe 5.17 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

5.18 Compatibilité électromagnétique (CEM)

Le paragraphe 5.18 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

5.19 Emission de rayons X

Le paragraphe 5.19 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

5.20 Corrosion

Le paragraphe 5.20 de la CEI 62271-1 est applicable, à l'exception de ce qui suit.

5.20.101 Protection contre la corrosion des installations enterrées

Le choix du revêtement externe et de tout système actif destinés à la protection contre la corrosion doit prendre en compte les conditions particulières telles que: le lieu, la nature et l'état du sol ou du remblai, le matériau d'enveloppe et le type de mise à la terre adopté.

En général, la protection contre la corrosion des LIG est similaire à celle des pipe-lines ou des câbles de puissance. L'enveloppe est revêtue d'une ou de plusieurs couches de caoutchouc ou d'un matériau plastique. Le revêtement agit comme un système passif de protection contre la corrosion, en empêchant le contact de l'enveloppe métallique du matériel électrique avec l'humidité ou l'eau.

Un système actif peut être installé en complément du système passif de protection contre la corrosion, pour prévenir les cas de défaillance du système passif. Le système actif place l'enveloppe métallique à un potentiel électrique prédéfini en fonction de la nature du matériau d'enveloppe (acier, aluminium). La conception du système actif de protection contre la corrosion doit prendre en compte l'état du sol autour de la LIG.

5.20.102 Protection contre la corrosion des installations non enterrées

Le paragraphe 5.20 de la CEI 62271-1 est applicable.

5.101 Défauts internes

5.101.1 Généralités

La probabilité d'un défaut conduisant à un arc dans une LIG construite selon la présente Norme internationale est faible. Cela résulte de l'utilisation d'un gaz isolant autre que l'air à la pression atmosphérique, exempt de pollution, d'humidité ou de vermine.

Des exemples de dispositions pour éviter les arcs dus à un défaut interne, et pour limiter leur durée et leurs conséquences sont donnés ci-après:

- la coordination de l'isolement;
- la limitation et la surveillance des fuites de gaz;
- la protection rapide;
- les dispositifs de court-circuitage rapide des arcs;
- les verrouillages entre les appareils de connexion;
- la commande à distance;
- les décharges de pression, internes et/ou externes;
- le contrôle de la main-d'œuvre sur le site.

Il convient que des dispositions soient également prises pour réduire les effets de défauts internes conduisant à un arc sur la continuité de service de la LIG. Il convient que l'effet d'un arc soit limité au compartiment dans lequel il s'est produit.

Si, en dépit des dispositions prises, un essai est décidé par accord entre constructeur et utilisateur pour vérifier l'effet de l'arc dû à un défaut interne, il convient de conduire cet essai selon 6.105.

Dans le cas de LIG sous enveloppe monophasée installée dans des réseaux à neutre isolé ou mis à la terre par bobine d'extinction, et équipé d'une protection pour limiter la durée des défauts internes à la terre, les essais ne sont normalement pas nécessaires.

NOTE Dans les systèmes à neutre mis à la terre par bobine d'extinction ou isolé, une protection permettant de limiter la durée d'un défaut interne est fortement recommandée.

5.101.2 Effets externes de l'arc

Des précautions adéquates au niveau des installations doivent être prises pour réduire les dangers dus aux risques tolérables, se reporter au Guide ISO/CEI 51.

Afin d'atteindre une protection élevée pour le personnel, les effets externes d'un arc doivent être limités (par un système approprié de protection) à l'apparition d'un trou ou d'une déchirure sur l'enveloppe, sans aucune fragmentation.

Le constructeur doit fournir des informations suffisantes pour permettre à l'utilisateur de prendre ses précautions.

Le constructeur et l'utilisateur peuvent convenir d'une durée pendant laquelle un arc dû à un défaut interne, jusqu'à une valeur donnée du courant de court-circuit, ne causera pas d'effets externes (se reporter également au 5.102.2).

5.101.3 Localisation de défaut interne

Des dispositifs appropriés doivent être disponibles pour permettre de déterminer la localisation de défauts.

5.102 Enveloppes

5.102.1 Généralités

L'enveloppe doit être en métal, reliée en permanence à la terre et capable de résister aux pressions normales et transitoires auxquelles elle est soumise en service.

Bien que les enveloppes de matériels à remplissage de gaz conformes à la présente Norme internationale soient, en service, sous pression permanente, elles sont soumises à des conditions de service particulières qui les différencient des réservoirs d'air comprimé et des réservoirs de stockage similaires. Ces conditions sont les suivantes:

- les enveloppes enferment le circuit principal pour empêcher toute approche dangereuse des parties actives, et elles ont une forme qui leur permet d'assurer le niveau d'isolement assigné (voir 4.2) de l'équipement lorsqu'elles sont remplies à une pression égale ou supérieure à la pression minimale fonctionnelle de gaz pour l'isolement (voir 4.10) (des considérations d'ordre électrique plutôt que mécanique sont déterminantes pour le choix des formes et des matériaux utilisés);
- les enveloppes sont remplies normalement avec un gaz non corrosif, complètement sec, stable et inerte; comme il est fondamental pour le bon fonctionnement de l'appareillage de maintenir ce gaz dans cet état avec seulement de faibles variations de pression, et comme les enveloppes ne seront pas soumises à une corrosion interne, la prise en compte de ces facteurs est inutile pour la conception des enveloppes (cependant, il convient de tenir compte des effets possibles des vibrations transmises);
- la pression de service est relativement faible.

Pour toute installation à l'extérieur, le constructeur doit tenir compte de l'influence des conditions climatiques (voir Article 2).

Dans le cas d'une installation enterrée, les conditions d'environnement doivent être prises en compte. En ce qui concerne la protection contre la corrosion externe, voir 5.13.

5.102.2 Conception des enveloppes

Les parois des enveloppes doivent avoir une épaisseur déterminée d'après la pression de calcul et d'après les durées minimales suivantes avant perforation par l'arc:

- 0,1 s pour les courants de 40 kA et plus;
- 0,2 s pour les courants plus faibles.

Pour minimiser le risque de perforation, la valeur et la durée du courant de défaut ainsi que la conception de l'enveloppe et la taille des compartiments doivent être coordonnées attentivement. Il convient que le volume minimal soit tel que les systèmes de décharge ne fonctionnent pas pour les durées de tenue minimales indiquées ci-dessus.

En l'absence d'un accord international sur la normalisation d'une procédure, les méthodes pour le calcul de l'épaisseur et la construction des enveloppes soudées ou moulées peuvent être choisies dans des codes reconnus de réservoirs à pression et de gazoducs, en prenant comme base la température et la pression de calcul définies par la présente Norme internationale.

NOTE Pour la conception d'une enveloppe, il convient de tenir également compte des données suivantes:

- a) mise à vide éventuelle de l'enveloppe au cours des opérations normales de remplissage;
- b) différence totale de pression possible, de part et d'autre des parois de l'enveloppe ou des cloisons;

- c) pression résultant d'une éventuelle fuite accidentelle entre compartiments pour des compartiments adjacents remplis à des pressions de service différentes;
- d) possibilité d'apparition d'un défaut interne (voir 5.7).

La température de calcul de l'enveloppe est généralement la limite supérieure de la température de l'air ambiant, augmentée de l'échauffement dû au passage du courant assigné en service continu. Il convient de tenir compte du rayonnement solaire en cas d'effet significatif de celui-ci.

La pression de calcul de l'enveloppe est au moins égale à la pression maximale atteinte à l'intérieur de l'enveloppe à la température de calcul.

Pour déterminer la pression de calcul de l'enveloppe, la température du gaz doit être supposée égale à la moyenne des températures maximales de l'enveloppe et du conducteur de circuit principal sous le courant assigné en service continu, à moins que la pression de calcul ne puisse être déduite des résultats d'essais d'échauffement existants.

Pour la conception de l'enveloppe, les charges mécaniques autres que celles causées par la surpression interne doivent être prises en compte, comme les efforts dus à la dilatation thermique (voir 5.106) les vibrations externes (voir 5.107), les chargements du sol pour les installations enterrées, d'autres charges externes, tremblements de terre, vent, neige, glace, etc.

Pour démontrer que les enveloppes et parties d'enveloppes, dont la résistance n'a pas été complètement calculée, satisfont aux exigences requises, il doit être procédé à des épreuves (voir 6.7).

Les matériaux utilisés dans la construction des enveloppes doivent avoir des propriétés physiques minimales connues et certifiées, servant de base aux calculs et/ou aux épreuves. Le constructeur doit être responsable du choix des matériaux et du respect de ces propriétés minimales, sur la base des certificats de fournisseurs ou d'après des essais réalisés par lui-même, ou d'après les deux à la fois.

5.103 Cloisons et cloisonnement

Les LIG doivent être divisées en compartiments en vue de répondre aux conditions normales de fonctionnement et d'obtenir une limitation des effets d'un arc à l'intérieur du compartiment (voir 5.101.1).

La manière dont la LIG est divisée en compartiments a une influence sur:

- l'installation;
- les essais sur site;
- la maintenance;
- la manipulation du gaz.

Les cloisons sont généralement constituées par un matériau isolant mais ne sont pas destinées à assurer par elles-mêmes la sécurité électrique du personnel, sécurité pour laquelle d'autres moyens, tels que la mise à la terre de l'équipement, peuvent être nécessaires. Toutefois, les cloisons doivent assurer la sécurité mécanique vis-à-vis de la pression différentielle du gaz qui existe avec le compartiment voisin.

Une cloison séparant un compartiment rempli d'un gaz isolant d'un compartiment voisin rempli de liquide ne doit pas comporter de fuite affectant les propriétés diélectriques des deux milieux.

Il convient de prendre en considération le cloisonnement du système de LIG afin de satisfaire aux exigences de fonctionnement, de limitation de la partie de la LIG affectée par le défaut et de facilité de maintenance.

5.104 Tronçons d'un système de LIG

Le cloisonnement d'un système de LIG peut être réalisé à l'aide d'unités de séparation. La longueur de ces tronçons le long du système est déterminée en fonction de certaines exigences telles que l'accès et la longueur maximale pour les essais, l'évolution de l'installation dans le cas de projets longs, ou en fonction des conditions de fonctionnement et de maintenance.

5.105 Décharge de pression

Les dispositifs de décharge de pression prévus conformément au présent paragraphe doivent être placés de façon à minimiser le danger pour un opérateur pendant qu'il effectue les tâches normales d'exploitation sur la LIG si des gaz ou vapeurs s'échappent sous pression.

NOTE Le terme «dispositif de décharge de la pression» recouvre à la fois des soupapes de décharge caractérisées par une pression d'ouverture et une pression de refermeture, et des dispositifs de décharge sans refermeture, tels que des diaphragmes et des disques de rupture.

5.105.1 Limitation de la pression maximale de remplissage

Pour remplir un compartiment de gaz, un régulateur de pression doit être monté sur le tuyau de remplissage afin d'empêcher que la pression dépasse de plus de 10 % la pression de calcul. En variante, le régulateur peut être monté sur l'enveloppe elle-même.

Il est recommandé de choisir la pression de remplissage en tenant compte de la température du gaz au moment du remplissage, par exemple en utilisant des manomètres avec compensation de température.

5.105.2 Dispositifs de décharge pour limiter l'élévation de pression en cas de défaut interne

Comme, après un arc dû à un défaut interne, les enveloppes endommagées seront remplacées, la présence des dispositifs de décharge de pression n'est nécessaire que pour limiter les effets externes de l'arc (voir 5.101.2).

Selon le volume de gaz du compartiment, la valeur et la durée du courant de court-circuit, il se peut que la pression en cas de défaut interne n'excède pas la pression spécifiée pour l'essai individuel de série de l'enveloppe; si tel est le cas, un dispositif de décharge n'est pas obligatoire. Cette observation présente un intérêt particulier dans le cas d'installations dans un tunnel.

Si les dispositifs de décharge sont utilisés dans un espace confiné accessible au personnel, des précautions doivent être prises pour assurer la sécurité en cas de décharge (Voir également l'Article 11).

NOTE 1 Dans le cas d'un défaut interne provoquant la déformation plastique d'une enveloppe, il convient de vérifier l'absence de déformation sur les enveloppes voisines.

NOTE 2 En cas d'emploi de disques de rupture pour la décharge de pression, il convient de porter une attention particulière à leur pression de rupture, comparée à la pression de calcul de l'enveloppe pour diminuer les risques de rupture intempestive des disques.

5.106 Compensation de la dilatation thermique

Du fait des différences de température entre les parties de la LIG, entre des parties de la LIG et leur environnement, ou parce que des parties de la LIG présentent des différences de température par rapport à leur température lors de la construction, des parties de la ligne subissent des mouvements les uns par rapport aux autres, et par rapport à leur environnement.

Les mouvements relatifs ou les forces entre les parties de la LIG et/ou leur environnement peuvent être déterminés soit par des mesures, soit par des calculs qui doivent être basés sur

la différence de température maximale de ces parties par rapport à leur température durant la construction. Lorsqu'une compensation s'avère nécessaire, les méthodes suivantes doivent être utilisées:

- a) la compensation entre les composants du circuit primaire et l'enveloppe doit être obtenue par des contacts glissants ou des moyens analogues au niveau des pièces primaires;
- b) la compensation entre l'enveloppe et l'environnement (charpente fixe, sol environnant) doit être obtenue par des moyens appropriés.

NOTE Il convient de faire référence à des normes ou méthodes appropriées pour le calcul des forces résultantes et des mouvements relatifs entre l'enveloppe et son environnement, ainsi que pour l'interprétation des résultats. Ceci est particulièrement important dans le cas de LIG enterrées, qui sont fortement affectées par des facteurs tels que les ancrages, le compactage et la nature du sol, la configuration géométrique de la ligne, etc.

5.107 Vibrations externes

Dans certaines conditions, la LIG peut être exposée à des vibrations externes. Une LIG fixée à un pont utilisé aussi bien par des piétons que par des automobiles ou des trains constitue un exemple typique. Une LIG directement connectée à des transformateurs de puissance et des bobines d'inductance est un second exemple.

Lorsqu'une LIG est fixée à une source de vibrations, il est conseillé de réduire les contraintes mécaniques par l'installation de dispositifs d'amortissement placés entre la source et les éléments de charpente fixés de manière rigide à la LIG. Une telle disposition peut réduire de manière considérable les contraintes mécaniques dynamiques subies par la structure de la LIG. Le niveau résiduel des contraintes dynamiques doit être pris en compte comme base pour le dimensionnement mécanique, en combinant les forces qui en résultent avec les autres forces qui s'appliquent à la LIG pour déterminer les niveaux de contraintes résultants, et garantir que ces niveaux sont inférieurs aux niveaux admissibles dans les matériaux employés.

Dans le cas d'un pont, une attention particulière doit être portée aux mouvements relatifs entre le pont et son environnement. Ces mouvements sont susceptibles de produire des efforts mécaniques additionnels qu'il est nécessaire de prendre en compte lors de la détermination des niveaux de contraintes résultants en vue du dimensionnement mécanique.

5.108 Charpentes pour les LIG non enterrées

Les charpentes pour les LIG ont une influence sur le comportement mécanique des LIG. La construction de la charpente peut varier suivant sa fonction, la configuration de la LIG et les caractéristiques des fondations, du tunnel ou du puits destinés à recevoir la LIG. C'est pour cette raison que les paramètres de la conception et les exigences s'appliquant à la charpente sont décrits dans ce paragraphe.

5.108.1 Paramètres de la conception

Il convient de considérer les forces et charges suivantes pour la conception de la charpente:

- poids de la LIG;
- forces dues à la pression interne du gaz;
- friction entre les surfaces du support et de la semelle de la LIG;
- forces dues à la dilatation thermique de la LIG;
- force sismique, le cas échéant;
- force due au vent, le cas échéant;
- force due au courant de court-circuit;
- charge de glace, le cas échéant;
- forces dues à d'autres impacts externes, tels que les vibrations;
- effort de traction de ligne sur la traverse aérienne SF₆/air.

Lorsque la charpente n'est pas partie intégrante du système de mise à la terre, des dispositions doivent être prises pour éliminer les courants de Foucault dans la charpente et permettre la protection contre la corrosion.

5.108.2 Types de charpentes

La fonction de soutènement se répartit en deux catégories de base, décrites ci-dessous:

- a) supports flexibles ou coulissants: ces charpentes sont conçues pour supporter et permettre un certain mouvement du fait de la dilatation thermique de la LIG;
- b) supports rigides: ces charpentes sont conçues pour bloquer la LIG et supporter les forces dues à la dilatation thermique de l'enveloppe et à la dilatation des compensateurs d'enveloppe, le cas échéant, ainsi que celles dues à la pression interne du gaz.

6 Essais de type

6.1 Généralités

Le paragraphe 6.1 de la CEI 62271-1 est applicable avec les compléments suivants:

Les essais de type doivent être réalisés sur des ensembles ou sous-ensembles représentatifs.

Il n'est pas possible de soumettre toutes les dispositions prévues à des essais de type, compte tenu de la multiplicité des combinaisons possibles des matériels. Les caractéristiques d'une disposition donnée peuvent alors être déduites des résultats d'essais obtenus avec des dispositions comparables. Tous les essais doivent être effectués sur le matériel rempli avec le type de gaz spécifié à la pression assignée de remplissage, sauf spécification contraire au paragraphe correspondant.

Les résultats de tous les essais de type doivent être enregistrés dans des rapports d'essais de type contenant assez d'informations pour prouver la conformité avec cette spécification, et pour identifier les parties essentielles du matériel en essai. Des informations générales sur les charpentes doivent être incluses dans les rapports d'essais.

Les essais et vérifications de type comprennent les essais énumérés ci-dessous:

6.1.101 Essais de type obligatoires	Paragraphes
a) Essais de vérification du niveau d'isolement de l'équipement, y compris les essais de décharges partielles et les essais diélectriques des circuits auxiliaires	6.2
b) Essais de vérification de l'échauffement de toute partie de l'équipement et mesurage de la résistance du circuit principal	6.4 et 6.5
c) Essais de vérification de l'aptitude des circuits principaux et des circuits de mise à la terre à supporter la valeur de crête du courant admissible assigné et le courant de courte durée admissible assigné	6.6
d) Essais de vérification de la protection des personnes contre le contact avec des parties actives des circuits auxiliaires	6.7
e) Essais de vérification de la résistance mécanique de l'enveloppe	6.101
f) Essai de vérification de la résistance mécanique des cloisons	6.102
g) Essais d'étanchéité au gaz	6.103
h) Essais anticorrosion (le cas échéant)	6.103

6.1.102 Essais de type spéciaux

(faisant l'objet d'un accord entre constructeur et utilisateur)

a) Essais mécaniques sur les contacts glissants	6.104
b) Essais de vérification de la protection de l'équipement contre les effets externes dus aux intempéries et aux agents atmosphériques	6.106
c) Essais pour évaluer les effets d'un arc dû à un défaut interne	6.105
d) Essai de longue durée pour les installations enterrées	Annexe C

NOTE Certains de ces essais de type peuvent compromettre l'aptitude des parties en essai à leur emploi ultérieur en service.

6.2 Essais diélectriques

Le paragraphe 6.2 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

6.2.1 Conditions de l'air ambiant pendant les essais

Le paragraphe 6.2.1 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

6.2.2 Modalités des essais sous pluie

Le paragraphe 6.2.2 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

6.2.3 Etat de l'appareillage pendant les essais diélectriques

Le paragraphe 6.2.3 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

Les essais diélectriques doivent être effectués à la pression minimale fonctionnelle pour l'isolement spécifiée par le constructeur. On doit noter la température et la pression du gaz durant les essais et l'indiquer dans le rapport d'essais.

6.2.4 Conditions de réussite des essais

Le paragraphe 6.2.4 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

6.2.5 Application de la tension d'essai et conditions d'essai

Le paragraphe 6.2.5 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

Les tensions d'essai spécifiées en 6.2.6 et 6.2.7 doivent être appliquées en connectant successivement chaque conducteur de phase du circuit principal à la borne à haute tension de la source d'essai. Il faut relier tous les autres conducteurs du circuit principal et des circuits auxiliaires au conducteur de terre, ou au châssis et à la borne de terre de la source d'essai.

Lorsque chaque phase est individuellement enfermée dans une enveloppe métallique, on n'effectue que des essais à la terre et pas d'essai entre phases.

6.2.6 Essais de l'appareillage de $U_r \leq 245$ kV

Le paragraphe 6.2.6 de la CEI 62271-203 est applicable avec les compléments suivants:

6.2.6.1 Essais de tension à fréquence industrielle

La LIG doit être soumise à des essais de tension de courte durée à fréquence industrielle, selon la CEI 60060-1. La tension d'essai doit être élevée jusqu'à la valeur d'essai et maintenue pendant 1 min. Les essais doivent être effectués à sec seulement.

Le matériel doit être considéré comme ayant réussi l'essai si aucune décharge disruptive ne s'est produite.

6.2.6.2 Essais de tension de choc de foudre

Pendant les essais, la borne du générateur de choc, raccordée à la terre, doit être connectée à l'enveloppe de la LIG.

La longueur de l'objet en essai doit être prise en compte pour éviter les surtensions dues aux ondes mobiles.

6.2.7 Essais de l'appareillage de $U_r > 245$ kV

Le paragraphe 6.2.7 de la CEI 62271-203 est applicable avec les compléments suivants:

6.2.7.1 Essais de tension à fréquence industrielle

La LIG doit être soumise à des essais de tension de courte durée à fréquence industrielle, selon la CEI 60060-1. La tension d'essai doit être élevée jusqu'à la valeur d'essai et maintenue pendant 1 min. Les essais doivent être effectués à sec seulement.

Le matériel doit être considéré comme ayant réussi l'essai si aucune décharge disruptive ne s'est produite.

6.2.7.2 Essais à la tension de manœuvre

Pendant les essais, la borne du générateur de choc, raccordée à la terre, doit être connectée à l'enveloppe de la LIG.

La longueur de l'objet en essai doit être prise en compte pour éviter les surtensions dues aux ondes mobiles.

6.2.8 Essais de pollution artificielle pour les isolateurs d'extérieur

Le paragraphe 6.2.8 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

6.2.9 Essais de décharges partielles

Le paragraphe 6.2.9 de la CEI 62271-203 est applicable.

Il convient que l'intensité maximale admissible des décharges partielles à U_q correspondant au circuit d'essai appliqué ne dépasse pas 5 pC.

6.2.10 Essais diélectriques sur les circuits auxiliaires et de commande

Le paragraphe 6.2.10 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.2.11 Essai de tension comme essai de vérification d'état

Le paragraphe 6.2.11 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

6.3 Essai de tension de perturbation radioélectrique

Le paragraphe 6.3 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

6.4 Mesurage de la résistance des circuits

Le paragraphe 6.4 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant:

Les pièces conductrices du circuit principal et l'enveloppe, ainsi que chaque type de contact doivent être essayés avant et après l'essai d'échauffement.

6.5 Essais d'échauffement

Le paragraphe 6.5 de la CEI 62271-1 est applicable avec les compléments suivants:

Des calculs basés sur les résultats des essais de type peuvent être effectués pour déterminer le courant maximal admissible pour d'autres conditions de service spécifiées. Se référer à l'Annexe A pour ces calculs. Tout essai complémentaire doit faire l'objet d'un accord entre constructeur et utilisateur.

L'ensemble ou le sous-ensemble doit inclure une enveloppe normale, munie le cas échéant d'un revêtement anticorrosion, et doit être protégé contre des échauffements ou refroidissements intempestifs venant de l'extérieur. L'essai doit être réalisé à l'air libre.

Quand il est prévu une possibilité de choix entre différents matériels ou différentes dispositions, l'essai doit être effectué avec les matériels ou dispositions donnant les conditions les plus sévères.

Sauf dans le cas où chaque pôle est individuellement enfermé dans une enveloppe métallique, les essais doivent être faits avec le nombre de phases assigné et le courant assigné en service continu circulant d'une extrémité de l'ensemble en essais aux bornes prévues pour la connexion des câbles.

Lorsqu'un essai monophasé est autorisé et effectué, le courant dans l'enveloppe doit représenter les conditions de fonctionnement les plus sévères.

Pour l'essai de sous-ensembles individuels, il convient que les sous-ensembles voisins soient parcourus par des courants dissipant les puissances prévues pour les conditions assignées. Il est admis de réaliser des conditions équivalentes à l'aide de résistances de chauffage ou d'une isolation thermique lorsque l'essai ne peut être effectué dans les conditions réelles.

Les échauffements des différents matériels doivent être indiqués par rapport à la température de l'air ambiant. Ils ne doivent pas excéder les valeurs spécifiées dans les normes dont relèvent ces matériels.

NOTE 1 Les informations sur les puissances dissipées et la résistance électrique des pièces conductrices de la LIG sont utilisées pour la réalisation des calculs suivant l'Annexe A.

NOTE 2 La constante de temps de la LIG relevée durant les essais sert de base à l'évaluation de la capacité de surcharge temporaire de la LIG.

6.6 Essais au courant de courte durée admissible et à la valeur de crête du courant admissible

Le paragraphe 6.6 de la CEI 62271-203 est applicable.

Quand il est prévu une possibilité de choix entre différents matériels ou différentes dispositions, les essais doivent être effectués avec les matériels ou dispositions représentatives donnant les conditions les plus sévères.

6.6.1 Disposition de la LIG et du circuit d'essai

Le paragraphe 6.6.1 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

Le dispositif d'essai doit être muni de contacts propres, à l'état neuf.

Une LIG avec enveloppe tripolaire doit être essayée en triphasé.

Les conditions d'essais d'une LIG avec enveloppe monophasée doivent être adaptées en fonction du courant de retour dans l'enveloppe, qui dépend du système de mise à la terre:

- a) si, en exploitation, l'enveloppe est traversée par le plein courant de retour, la LIG doit être essayée en monophasé avec le plein courant de retour dans l'enveloppe;
- b) si, en exploitation, l'enveloppe n'est pas traversée par le plein courant de retour, la LIG doit être essayée en triphasé. Les essais doivent être réalisés pour la distance minimale entre les phases, indiquée par le constructeur.

6.6.2 Valeurs du courant d'essai et de sa durée

Le paragraphe 6.6.2 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.6.3 Comportement de la LIG au cours de l'essai

Le paragraphe 6.6.3 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

Il est admis que, pendant l'essai, l'échauffement des pièces traversées par le courant et des pièces voisines de la LIG puisse dépasser les limites spécifiées dans le Tableau 3 de la CEI 62271-1. Aucune limite d'échauffement n'est spécifiée pour les essais au courant de courte durée admissible, mais il convient que la température maximale n'atteigne pas une valeur telle qu'elle puisse causer un préjudice aux pièces voisines.

6.6.4 Etat de la LIG après essai

Le paragraphe 6.6.4 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

Après l'essai, les conducteurs ou contacts intérieurs de l'enveloppe ne doivent présenter ni déformation ni détérioration nuisible au bon fonctionnement.

Après l'essai, la résistance des circuits principaux doit être mesurée selon 6.3. Si la résistance a augmenté de plus de 20 %, et s'il n'est pas possible de confirmer l'état des contacts par inspection visuelle, il sera nécessaire de procéder à un essai d'échauffement supplémentaire.

6.7 Vérification de la protection

Le paragraphe 6.7.1 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant:

Si le second chiffre caractéristique est spécifié, les essais doivent être réalisés selon les exigences des Articles 11 et 14 de la CEI 60529:1989 pour le chiffre approprié.

6.8 Essais d'étanchéité

Le paragraphe 6.8 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.8.101 Connexion à brides

Voir 6.8 de la CEI 62271-1.

6.8.102 Connexion soudée

Aucun essai d'étanchéité spécifique n'est exigé pour les enveloppes soudées sur site à condition qu'un contrôle à 100 % de la soudure soit réalisé par des techniques radiographiques, ultrasonores ou toute autre méthode équivalente. Dans ce cas, on considère que les soudures ont un taux de fuite nul.

NOTE L'influence d'une connexion à brides au début et/ou à la fin est négligeable dans le cas d'une LIG soudée.

6.9 Essais de compatibilité électromagnétique (CEM)

Le paragraphe 6.9 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

6.10 Essais complémentaires sur les circuits auxiliaires et de commande

Le paragraphe 6.10 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

6.11 Procédure d'essai des rayonnements X pour les ampoules à vide

Le paragraphe 6.11 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

6.101 Epreuves des enveloppes

Des épreuves sont effectuées quand la résistance de l'enveloppe ou de parties de celle-ci n'est pas calculée. Elles sont effectuées sur les enveloppes seules sans équipement interne, avec des conditions d'essai reproduisant les contraintes dues à la pression de calcul.

Les épreuves peuvent consister soit en un essai de rupture sous pression, soit en un essai non destructif sous pression, suivant le matériau utilisé.

6.102 Essais destructifs sous pression

Le paragraphe 6.103.1 de la CEI 62271-203 est applicable.

Dans le cas d'un essai de rupture sous pression, il convient que la vitesse d'accroissement de la pression ne dépasse pas 400 kPa/min. Il convient d'établir les exigences d'essai de rupture sous pression sur la base de 3,5 fois la pression de calcul pour les enveloppes moulées et 2,3 fois la pression de calcul pour les enveloppes soudées. Ces facteurs sont déterminés en fonction des caractéristiques minimales certifiées des matériaux utilisés.

D'autres facteurs peuvent être nécessaires pour tenir compte des méthodes de construction et du matériau utilisé.

Toute enveloppe même demeurée intacte après avoir été soumise à ces pressions doit être mise au rebut.

6.102.1 Essais non destructifs sous pression

Le paragraphe 6.103.2 de la CEI 62271-203 est applicable.

6.102.2 Essai de vérification de la résistance mécanique des cloisons

Le paragraphe 6.104 de la CEI 62271-203 est applicable.

6.103 Essais anticorrosion pour les installations enterrées

6.103.1 Protection passive contre la corrosion

Le système passif de protection contre la corrosion est, dans son principe, un revêtement synthétique de l'enveloppe métallique destiné à protéger le métal contre l'humidité. Le revêtement synthétique est généralement constitué d'une ou plusieurs couches de matériau synthétique.

Les trois essais suivants doivent être réalisés.

6.103.2 Essai électrique

Un essai électrique haute tension doit être effectué pour vérifier la qualité du revêtement synthétique. Pour cela, une couche conductrice est appliquée sur le revêtement synthétique. Une tension d'essai, qui dépend de la rigidité diélectrique du revêtement synthétique, est ensuite appliquée entre l'enveloppe métallique et la couche conductrice.

La valeur de la tension dépend du type de revêtement synthétique et doit être définie par accord entre le constructeur et l'utilisateur. Si l'essai est exigé par un contrat en particulier, la couche de protection contre la corrosion doit être soumise à l'essai électrique spécifié dans l'Article 3 de la CEI 60229:2007.

La longueur de l'échantillon soumis aux essais doit être suffisante pour que l'essai du revêtement synthétique donne un résultat représentatif. Pour cette raison, la longueur minimale recommandée est $5 D$, où D est le diamètre extérieur de l'enveloppe métallique.

6.103.3 Essai mécanique

Les essais mécaniques sont effectués à une température ambiante définie selon la CEI 60068-1. Il faut que l'essai mécanique de type démontre la résistance du revêtement aux conditions rencontrées sur site pendant et après la pose. Il est nécessaire que l'épreuve porte sur la résistance à deux contraintes mécaniques:

- la flexion du revêtement.
- l'impact d'objets métalliques ou de pierres sur le revêtement.

Les contraintes mécaniques dépendent fortement des méthodes de pose et du tracé du système. Les forces et les procédures d'essais doivent être définies par accord entre le constructeur et l'utilisateur.

6.103.4 Essai thermique

Les essais thermiques de type représentent les contraintes résultant des variations de température maximales de la LIG, pendant l'assemblage sur site et en exploitation.

Les conditions normales de service sont couvertes par la CEI 62271-1, alors que les conditions ambiantes particulières sont nécessairement définies par l'utilisateur. La procédure d'essais de type doit être définie par accord entre constructeur et utilisateur.

6.104 Essais spéciaux mécaniques des contacts glissants

Un essai d'endurance doit être réalisé pour évaluer la capacité de composants individuels tels que les contacts glissants à assurer leur fonction pendant la durée de vie escomptée pour le matériel.

NOTE 1 L'essai est spécifique aux LIG, du fait des difficultés liées à la mesure et la maintenance de leurs contacts.

Le contact doit être identifié par:

- la disposition et le principe du contact;
- le matériau du contact (y compris la nature et l'épaisseur du revêtement le cas échéant);
- la pression de contact (minimale – maximale);
- la lubrification (le cas échéant) selon le manuel d'instructions.

Les conditions d'essais doivent mentionner:

- la course du contact;
- la vitesse du contact;
- le nombre de cycles.

Un banc d'essai motorisé peut être utilisé pour simuler le mouvement relatif attendu des conducteurs sous tension. L'essai sera considéré comme représentatif si:

- les conditions les plus sévères sont atteintes, en prenant en compte la dilatation différentielle maximale, le poids des conducteurs, les charges, etc.;

- la fréquence des manœuvres est limitée à une valeur de l'ordre de six cycles par heure;
- le nombre minimal de cycles est de 10 000 dans le cas d'applications générales de LIG.

NOTE 2 Pour des applications particulières, telles que l'alimentation d'une station de pompage, un nombre plus important de cycles de manœuvres et/ou une fréquence accrue des manœuvres, peuvent être convenus entre constructeur et utilisateur.

Les inspections et essais suivants sont effectués avant et après l'essai:

- contrôle visuel;
- vérification dimensionnelle et pression de contact;
- résistance de contact.

L'essai sera considéré comme satisfaisant si:

- l'inspection visuelle montre que le revêtement de surface initial est encore présent partout;
- l'usure est telle que la pression de contact reste dans la tolérance autorisée;
- la variation de résistance de contact est inférieure ou égale à 20 %.

6.105 Essais en cas d'arc dû à un défaut interne

Si un tel essai est décidé entre constructeur et utilisateur, une procédure conforme aux méthodes décrites dans la CEI 62271-203, Annexe B, doit être utilisée.

La durée de passage du courant ne doit pas être inférieure au temps d'élimination du défaut pour la protection de second stade prévu, déterminé par les matériels de protection.

Il convient que les valeurs du courant de court-circuit correspondent au courant de courte durée admissible assigné.

NOTE Pour information, le temps d'élimination de défaut pour la protection de premier stade est d'environ 0,1 s pour les courants de 40 kA ou plus et de 0,2 s pour les courants plus faibles. Le temps pour la protection de second stade ne dépasse normalement pas 0,3 s pour les courants de 40 kA ou plus et 0,5 s pour les courants plus faibles.

La LIG est réputée convenir si, au cours de l'essai, aucun effet externe ne se produit pendant les durées spécifiées en 5.102.2.

Aucune fragmentation de l'enveloppe ne doit résulter d'un défaut éliminé en 0,3 s pour un courant supérieur ou égal à 40 kA, ou en 0,5 s pour un courant plus faible, sauf accord différent entre constructeur et utilisateur.

Des essais sur une disposition particulière peuvent être utilisés pour prévoir le comportement d'autres dispositions répondant à des conceptions identiques, par calcul ou par analogie, ou par une combinaison des deux.

Pour étendre les résultats d'essais à d'autres enveloppes de conception similaire mais de taille ou de forme différente et/ou pour d'autres paramètres d'essai, il convient que les méthodes de calcul utilisées fassent l'objet d'un accord entre constructeur et utilisateur.

6.106 Essais de protection contre les intempéries

Si un accord entre constructeur et utilisateur le prévoit, un essai de protection contre les intempéries doit être effectué sur les LIG pour installation à l'extérieur. L'Annexe A de la CEI 62271-203 indique une méthode recommandée. L'essai tient compte également des effets de la neige propulsée par le vent.

Si un examen de la conception de l'appareillage montre que l'essai n'est pas nécessaire, celui-ci peut être supprimé.

7 Essais individuels de série

7.1 Essais diélectriques du circuit principal

Le paragraphe 7.1 de la CEI 62271-203 est applicable avec le complément suivant:

Les essais diélectriques individuels de série seront de préférence réalisés sur des sous-ensembles complets. Cependant, en raison de l'existence de tronçons très longs qui peuvent être expédiés démontés, le fabricant peut limiter l'essai aux pièces critiques (isolateurs par exemple). Ces pièces critiques doivent être essayées dans une configuration diélectrique identique à celle des conditions de service. L'essai diélectrique sur le tronçon complètement monté sera alors fait sur site (voir 10.3.101).

Les essais à fréquence industrielle sur le circuit principal de la LIG doivent être exécutés selon les exigences de 6.2.5, à la terre et entre phases (si applicable). Les tensions d'essai pour les essais individuels de série doivent être choisies dans la CEI 62271-203 (colonne (2) des Tableaux 102 ou 103).

Les essais doivent être exécutés à la pression fonctionnelle minimale du gaz pour l'isolement.

7.2 Essais diélectriques des circuits auxiliaires et de commande

Le paragraphe 7.2 de la CEI 62271-1 est applicable.

7.3 Mesurage de la résistance du circuit principal

Le paragraphe 7.3 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant:

Des mesurages globaux sont effectués en usine sur les unités de transport. La résistance globale mesurée ne doit pas être supérieure à $1,2 R_u$, où R_u est la somme des résistances correspondantes mesurées pendant l'essai de type.

7.4 Essai d'étanchéité

Le paragraphe 7.4 de la CEI 62271-1 est applicable en ajoutant le complément suivant:

On doit veiller au fait que le revêtement extérieur de l'enveloppe (s'il existe) peut masquer une fuite. L'essai d'étanchéité doit être adapté en conséquence.

NOTE Cet essai s'applique aux enveloppes faites en usine; pour les enveloppes soudées sur site, se reporter au 10.3.104.

7.5 Contrôles visuels et du modèle

Le paragraphe 7.5 de la CEI 62271-1 est applicable.

7.101 Mesurage des décharges partielles

Le mesurage des décharges partielles (DP) doit être appliqué aux pièces critiques comme les isolateurs. Se référer aux 6.2.6 et 6.2.6.2 pour les niveaux de tension et les valeurs d'acceptation de décharges partielles.

La détection des DP sur les sous-ensembles et/ou tronçons de LIG est recommandée.

7.102 Essais de pression des enveloppes faites en usine

Des essais de pression doivent être faits sur chaque enveloppe individuelle après fabrication.

La pression d'essai normalisée doit être égale à k fois la pression de calcul, le facteur k étant égal à:

- 1,3 pour les enveloppes soudées;
- 2,0 pour les enveloppes moulées.

8 Guide pour le choix de la LIG

L'article 8 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

Eu égard à des contraintes particulières en service, la LIG est choisie en tenant compte des caractéristiques individuelles assignées, exigées dans les conditions de charge normale et dans les conditions en cas de défaut.

Il convient de préciser les caractéristiques assignées comme proposé dans ce rapport technique en tenant compte des caractéristiques du réseau et de ses futures extensions présumées.

Il convient de déterminer les contraintes imposées par les conditions en cas de défaut en calculant les courants de défaut à l'endroit du réseau où l'installation est prévue.

Le cas échéant, la surcharge temporaire et la température ambiante correspondante doivent être définies par accord entre constructeur et utilisateur. Il est recommandé de réaliser une étude de température spécifique aux contraintes d'installation du projet pour valider que les températures limites ne seront pas dépassées.

8.101 Capacité de surcharge de courte durée

Les conditions de surcharge temporaire doivent faire l'objet d'un accord entre constructeur et utilisateur, en tenant compte des circonstances particulières (facteur et durée de la surcharge, température ambiante, conditions initiales, limites d'augmentation de température acceptables en surcharge, conditions de pose, etc.). Une valeur type de surcharge est par exemple située 20 % au-dessus du courant assigné pendant 30 min, en tenant compte de la charge spécifique et des températures au début de la période de surcharge.

8.102 Refroidissement forcé

Il doit prendre en compte les pertes totales dissipées dans le tunnel. Ces pertes doivent être celles qui correspondent au courant assigné pour les LIG et aux caractéristiques assignées pour les autres.

NOTE Il convient de restreindre l'accès au tunnel pour l'exploitation dans les conditions suivantes:

- en cas de surcharge temporaire;
- en cas de perte de ventilation;
- en cas de température excessive dans le tunnel;
- quand la concentration en gaz excède les niveaux mentionnés dans la réglementation locale.

9 Renseignements à donner dans les appels d'offres, les soumissions et les commandes

L'article 9 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

9.101 Renseignements à donner dans les appels d'offres et les commandes

Pour lancer un appel d'offre ou passer commande d'une LIG, il est recommandé au demandeur de fournir les renseignements suivants.

9.101.1 Caractéristiques propres au réseau

Tension nominale et tension la plus élevée, fréquence, mode de mise à la terre du neutre.

9.101.2 Conditions d'environnement

Il faut donner les détails d'environnement suivants:

- a) localisation à l'intérieur d'une installation électrique avec accès restreint, ou à l'extérieur dans une zone accessible au public;
- b) installation enterrée ou non;
- c) installation en tranchées, tunnels, ou en surface avec des structures à fournir;
- d) coupe géologique, et en cas d'installation enterrée, structure géologique et physique du sol;
- e) profondeur d'enfouissement (si enterrée);
- f) conductivité thermique du sol (si enterrée);
- g) ventilation des tranchées ou tunnels,
- h) exigences sismiques.

9.101.3 Conditions de service

Les températures minimale et maximale de l'air ou du sol ambiant; toutes conditions divergeant des conditions normales de service ou nuisant au fonctionnement satisfaisant de l'équipement, telles que l'exposition inhabituelle à la vapeur, à l'humidité, à des fluides, aux fumées, aux atmosphères explosives, à la poussière excessive ou au sel, le risque de tremblements de terre ou d'autres vibrations dues à des causes extérieures à l'équipement à livrer, ainsi que les mouvements possibles des fondations, et les chocs mécaniques possibles.

9.101.4 Caractéristiques d'installation

Il faut donner les caractéristiques d'installation suivantes:

- a) longueur de l'installation et tracé géographique;
- b) nombre de phases (à enveloppe monophasée ou polyphasée);
- c) nombre de circuits placés dans une même tranchée ou un même tunnel;
- d) tension assignée;
- e) niveau d'isolement assigné;
- f) courant assigné en service continu;
- g) courant de courte durée admissible assigné;
- h) durée de court-circuit assignée (si elle est différente de 1 s);
- i) valeur de crête du courant admissible assigné;
- j) durée maximale d'élimination en cas de défaut interne;
- k) degré de protection des circuits auxiliaires.

9.101.5 Caractéristiques des dispositifs auxiliaires

Il faut donner les caractéristiques suivantes pour les dispositifs auxiliaires:

- a) exigences relatives aux dispositifs auxiliaires et au système de surveillance (par exemple, verrouillage, surveillance du gaz, signaux, etc.);
- b) tension auxiliaire assignée (le cas échéant);
- c) fréquence auxiliaire assignée (le cas échéant).

9.101.6 Conditions spécifiques

En plus de ces caractéristiques, il est recommandé au demandeur d'indiquer toute condition qui peut influencer sur la soumission ou la commande, telle que les moyens et/ou restrictions de transport, les conditions particulières de montage ou d'installation, l'emplacement des connexions externes à haute tension ou les règles pour les réservoirs à pression.

Il convient d'indiquer si des essais de type spéciaux sont exigés.

9.102 Renseignements à donner avec les soumissions et la documentation contractuelle

Il convient que le constructeur fournisse les renseignements suivants, si applicable, avec les notices descriptives et les plans.

9.102.1 Valeurs et caractéristiques assignées

Les caractéristiques de l'installation sont énumérées en 9.101.4.

9.102.2 Autres particularités de la ligne de transmission et de ses composants

Il faut donner les détails de ligne suivants:

- a) pression de calcul des enveloppes;
- b) température de calcul des enveloppes;
- c) type et pression assignée du gaz utilisé pour l'isolement;
- d) pression minimale fonctionnelle;
- e) masse de gaz pour les différents compartiments;
- f) longueur des compartiments;
- g) valeurs limites des taux d'humidité et de fuite de gaz;
- h) détail des mesures appropriées pour la localisation des défauts.

9.102.3 Certificats ou comptes rendus d'essais de type

Lorsqu'ils sont demandés, les certificats ou compte rendus d'essais de type complets doivent être transmis.

9.102.4 Détails de construction

Les documents de soumission et la documentation contractuelle doivent fournir au minimum, sans limite de restriction, les éléments suivants:

- a) masse de l'unité de transport la plus lourde;
- b) dimensions hors tout de la ligne de transmission;
- c) disposition des connexions externes;
- d) dispositions pour le transport à prévoir par l'utilisateur;
- e) dispositions pour l'installation et la pose prescrites par le constructeur;
- f) emplacement des points de fixation sur les supports;
- g) efforts maximaux à chaque point de fixation;
- h) flèche maximale de l'enveloppe à chaque point de fixation.

9.102.5 Caractéristiques des dispositifs auxiliaires

Les documents de soumission et la documentation contractuelle doivent fournir au minimum, sans limite de restriction, les éléments suivants:

- a) types et valeurs assignées comme énuméré en 9.101.5;
- b) courant ou puissance absorbée en fonctionnement.

9.102.6 Informations concernant tous les sujets faisant l'objet d'un accord préalable entre constructeur et utilisateur

Vacant.

9.102.7 Liste des pièces détachées recommandées

Il convient que l'utilisateur se procure ces pièces détachées.

10 Transport, stockage, installation, manœuvre et maintenance

L'article 10 de la CEI 62271-1 est applicable, à l'exception de ce qui suit.

10.1 Conditions à respecter pendant le transport, le stockage et l'installation

Le paragraphe 10.1 de la CEI 62271-1 est applicable, avec les compléments suivants:

La propreté interne a une influence directe sur le fonctionnement de la LIG, par conséquent la propreté doit être assurée par tous les moyens appropriés prescrits par le constructeur.

NOTE Les précautions suivantes peuvent faire partie des moyens préconisés ci-dessus:

- connecter les différents éléments de LIG sous atmosphère propre (par exemple au moyen d'abris fermés sous atmosphère sèche, avec régulation de température et en légère surpression);
- il convient d'obturer les ouvertures durant l'installation par des caches ou des couvercles;
- si nécessaire, il convient d'effectuer un nettoyage interne de l'ensemble de la LIG après montage;
- outre les précautions sur site, le transport avec pré-remplissage avec un gaz sec et propre peut être utile pour maintenir les composants internes de la LIG dans de bonnes conditions.

Il est recommandé de choisir l'unité de montage la plus importante possible de façon à réduire le montage sur site et les risques de pollution.

Il convient de protéger les cônes d'assemblage des différents éléments de la LIG contre tout dommage aux portées de joint ou à la préparation des extrémités avant soudage.

Dans le cas où la LIG est constituée d'éléments soudés sur site, il convient de prendre des précautions pour éviter l'entrée dans la LIG de particules métalliques ou de fumée polluante.

Il convient que la procédure de montage soit couverte par le système d'assurance qualité.

10.2 Installation

Le paragraphe 10.2 de la CEI 62271-1 est applicable, avec le complément suivant:

Pour chaque type de LIG, il convient que les instructions fournies par le constructeur comprennent au moins les indications mentionnées ci-dessous.

10.2.1 Déballage et manutention

Le paragraphe 10.2.1 de la CEI 62271-1 est applicable.

10.2.2 Assemblage

Le paragraphe 10.2.2 de la CEI 62271-1 est applicable.

10.2.3 Montage

Le paragraphe 10.2.3 de la CEI 62271-1 est applicable.

10.2.4 Raccordements

Le paragraphe 10.2.4 de la CEI 62271-1 est applicable.

10.2.5 Inspection finale de l'installation

Le paragraphe 10.2.5 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

Il convient de fournir des instructions concernant la vérification et les essais qu'il est recommandé d'effectuer après l'installation de la LIG et l'achèvement de tous ses raccordements.

Il convient que ces instructions comprennent:

- une nomenclature des essais sur site recommandés pour établir un bon fonctionnement;
- les recommandations pour les mesures pertinentes qu'il convient de faire et d'enregistrer comme aide à la décision pour les futures opérations de maintenance;
- les instructions pour l'inspection finale et la mise en service.

10.2.6 Données d'entrée de base fournies par l'utilisateur

Le paragraphe 10.2.6 de la CEI 62271-1 est applicable.

10.2.7 Données d'entrée de base fournies par le constructeur

Le paragraphe 10.2.7 de la CEI 62271-1 est applicable.

10.3 Fonctionnement

Le paragraphe 10.3 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable.

Après installation et avant mise en service, la LIG doit être essayée pour vérifier le bon fonctionnement et l'intégrité diélectrique de l'équipement.

Ces essais et vérifications comprennent:

	Paragraphe
a) des essais de tension sur les circuits principaux	10.3.101
b) des essais diélectriques sur les circuits auxiliaires	7.2
c) le mesurage de la résistance du circuit principal	10.3.103
d) des essais d'étanchéité au gaz	7.4
e) des contrôles et vérifications	10.3.106
f) le mesurage de l'état du gaz	10.3.102
g) des essais anticorrosion pour les installations enterrées	10.3.107
h) des essais sur les enveloppes soudées sur site	10.3.104

Afin de minimiser les perturbations, et de réduire le risque d'introduction dans les enveloppes d'humidité ou de poussière susceptibles d'empêcher la LIG de fonctionner correctement, aucune inspection ou essai de pression périodique obligatoire n'est spécifié ou recommandé quand la LIG est en service.

10.3.101 Essais de tension sur les circuits principaux

10.3.101.1 Généralités

Parce qu'elle est d'une importance capitale pour une LIG, la tenue diélectrique doit être vérifiée afin d'éliminer les causes susceptibles de conduire à un défaut interne en service.

Les essais de tension sur site complètent les essais diélectriques individuels avec pour objectif de vérifier l'intégrité diélectrique de l'installation achevée et de détecter les anomalies, comme indiqué ci-dessus. Normalement, l'essai diélectrique doit être réalisé après que la LIG a été entièrement montée et remplie de gaz à la pression assignée, de préférence à la fin de tous les essais sur site, dans le cas d'une installation nouvelle. Il est recommandé de réaliser également un tel essai diélectrique après un démontage important pour maintenance ou reconditionnement des compartiments. Ces essais doivent être distingués de la montée progressive en tension réalisée afin de créer un certain conditionnement électrique de l'équipement avant mise en service.

La réalisation sur le site de tels essais n'est pas toujours pratique et certaines dérogations aux normes peuvent être acceptées. Le but de ces essais étant une vérification finale avant mise sous tension, il est très important que la procédure d'essai choisie ne mette pas en péril les parties saines de la LIG.

En choisissant, dans chaque cas individuel, une méthode d'essai appropriée, un accord particulier peut être nécessaire dans un intérêt de commodité ou d'économie ; par exemple, il peut être nécessaire de prendre en compte les exigences de puissance électrique, les dimensions et le poids des équipements d'essais.

Le constructeur et l'utilisateur doivent convenir du programme détaillé des essais diélectriques sur le site.

10.3.101.2 Modalités d'essai

La LIG doit être complètement montée et remplie de gaz à la pression assignée.

Pour l'essai, la LIG peut ne pas être connectée à d'autres équipements, soit à cause de leur courant de charge important, soit à cause de leur effet de limitation de la tension, comme :

- les câbles haute tension et les lignes aériennes;
- les transformateurs de puissance et la plupart des transformateurs de tension;
- les parafoudres et les éclateurs de protection.

En raison de la longueur d'une LIG il peut éventuellement être nécessaire de procéder à l'essai diélectrique sur site par tronçon. De ce fait, des dispositions doivent être prises dès la conception de la LIG pour prévoir des emplacements où l'équipement d'essai peut être monté sans avoir à démonter la LIG.

Le conducteur de la portion de LIG qui n'est pas testée doit être mis à la terre.

NOTE 1 Pour déterminer les parties pouvant être déconnectées, l'attention est attirée sur le fait que l'opération de reconnexion peut provoquer des défauts après la fin des essais.

NOTE 2 Pour essayer la plus grande partie de l'installation on peut prévoir, dès la conception, une éclisse démontable pour chacun des cas mentionnés ci-dessus. On entend par «éclisse» un élément du conducteur qui peut être facilement enlevé afin de séparer l'appareillage en deux parties isolées l'une de l'autre. Ce genre de séparation est préférable à un démontage.

Toute partie nouvellement installée d'une LIG doit être soumise sur le site à un essai diélectrique.

Généralement, en cas d'extension, il convient de mettre la partie adjacente existante hors tension et à la terre pendant l'essai diélectrique, sauf si des mesures spéciales sont prises pour éviter que des décharges disruptives survenant dans l'extension ne se répercutent sur la partie sous tension de la LIG existante.

Il peut être nécessaire d'appliquer la tension d'essai après réparation ou maintenance de parties importantes ou après montage d'extensions. On peut alors être obligé d'appliquer la tension d'essai à des parties existantes pour essayer toutes les sections concernées. Dans ces cas, il est recommandé de suivre la même procédure que pour une LIG nouvellement installée.

Pour choisir une forme d'onde appropriée, il convient de tenir compte de la CEI 60060-1; cependant, des formes d'onde similaires sont aussi acceptables. Une tension alternative est préférable, et il convient de ne pas utiliser de tension continue. Une surveillance des décharges partielles doit être faite durant l'application de la tension d'essai. La mesure conventionnelle des décharges partielles selon la CEI 60270 peut ne pas être appropriée. Il convient de considérer d'autres méthodes, comme la méthode UHF. A l'heure actuelle, aucun niveau n'a été prescrit.

Un niveau de tension égal à 80 % de la tension alternative appliquée durant l'essai individuel de série est recommandé. Pour les LIG longues, l'essai est effectué sur le tronçon le plus long possible.

Quand les tronçons sont entièrement montés pour former l'installation complète, un essai est effectué à une tension plus basse en raison des limites de l'équipement d'essai.

Un essai additionnel au choc peut être effectué (une forme d'onde de type choc de foudre, éventuellement onde oscillante, peut être utilisée, avec un temps à la crête augmenté). Le constructeur et l'utilisateur doivent convenir du niveau de tension.

10.3.102 Mesurage de contrôle de l'état du gaz

Le taux d'humidité du gaz isolant doit être déterminé. Ce taux doit être en conformité avec 5.1.

Le mesurage doit être effectué sur tous les compartiments de la LIG montée et remplie de gaz à la pression assignée.

Si la LIG est remplie d'hexafluorure de soufre, se référer à la CEI 60376 et à la CEI 60480 pour le contrôle de l'état du gaz en service.

10.3.103 Mesurage de la résistance du circuit principal

Les mesurages doivent être effectués sur des tronçons de LIG assemblés. Il convient que les conditions de mesure soient aussi proches que possible des conditions dans lesquelles les essais individuels ont été faits, dans la mesure du possible, sur les unités de transport.

Néanmoins, la méthode de mesure et la longueur appropriée pour les tronçons montés doivent être choisies en tenant compte des exigences suivantes:

- le mesurage doit être fait de façon à vérifier l'intégrité du circuit principal en incluant les jonctions;
- la précision du mesurage doit permettre la détection de toute mauvaise jonction.

10.3.104 Essais sur les enveloppes soudées sur site

Dans le cas où les enveloppes sont soudées sur site, deux types d'essais doivent être effectués pour vérifier la qualité et l'intégrité des soudures: un contrôle des soudures et des essais de pression.

10.3.104.1 Contrôle des soudures faites sur site

L'absence de défaut inacceptable dans toutes les soudures réalisées sur site doit être confirmée par des techniques radiographiques, ultrasonores ou toute autre méthode équivalente, définies par accord entre constructeur et utilisateur.

10.3.104.2 Essai de pression

Les enveloppes soudées sur site doivent être soumises à un essai de pression, de préférence pneumatique. Dans ce cas, le facteur k peut être limité à 1,1, l'essai étant fait sur un compartiment complètement monté. Il convient alors de prendre des précautions supplémentaires, telles que des examens renforcés des soudures.

Lorsque le facteur k est limité à 1,1, le contrôle des soudures, conformément à 10.3.104.1, doit être effectué sur 100 % de la longueur de la soudure.

Des dispositions doivent être prises durant l'essai pour s'assurer que le dispositif de décharge de pression ne fonctionnera pas. Si un essai pneumatique n'est pas compatible avec les réglementations locales, une méthode alternative doit être convenue entre constructeur et utilisateur.

NOTE Il convient d'éviter tout essai hydraulique d'un compartiment monté.

10.3.105 Essai périodique sur l'enveloppe

Aucun essai périodique n'est exigé sur l'enveloppe si:

- les enveloppes sont remplies avec un gaz non corrosif, sec, stable et inerte;
- l'état du revêtement extérieur anticorrosion est surveillé.

10.3.106 Contrôles et vérifications

Ce qui suit doit être vérifié:

- a) conformité de l'ensemble avec les dessins et les instructions du constructeur.
- b) étanchéité de tous les raccords de tuyauterie et serrage des boulons et connexions;
- c) conformité de la filerie avec les schémas;
- d) fonctionnement correct de la surveillance d'état et des équipements de régulation incluant le chauffage et l'éclairage;
- e) contrôle des bonnes connexions des circuits de bouclage.

NOTE Si pour une raison quelconque, un ou plusieurs des essais individuels de série n'ont pas été effectués en usine, il convient de les faire sur le site en les combinant avec les essais après montage.

10.3.107 Essais anticorrosion pour LIG directement enterrées

10.3.107.1 Protection passive contre la corrosion

Une tension dont le niveau et la durée sont spécifiés dans l'Article 5 de la CEI 60229:2007 doit être appliquée entre l'enveloppe métallique et le sol.

Pour que l'essai soit efficace, un bon contact est nécessaire entre le sol et l'ensemble de la surface extérieure de la gaine externe. Pour ce faire, une couche conductrice sur la gaine externe peut être utile.

10.3.107.2 Protection active contre la corrosion

Le système de protection active contre la corrosion est mis en œuvre en fonction de l'environnement tout au long de la LIG. Le courant et le potentiel de la protection sont calculés à partir des données de résistivité électrique du sol et de niveau d'acidité.

Ces valeurs doivent être mesurées une fois que la LIG est mise en service.

10.4 Maintenance

10.4.1 Recommandations pour le constructeur

Le paragraphe 10.4.1 de la CEI 62271-1 est applicable.

10.4.2 Recommandations pour l'utilisateur

Le paragraphe 10.4.2 de la CEI 62271-1 est applicable.

10.4.3 Rapport de défaillance

Le paragraphe 10.4.3 de la CEI 62271-1 est applicable.

10.4.101 Maintenance de la LIG

L'efficacité des actions de maintenance dépend principalement de la méthode utilisée par le constructeur pour l'élaboration des instructions et de leur mise en œuvre.

Il est important de prendre en compte dans les exigences l'éventualité d'une post-défaillance ou d'autres réparations et de prendre des dispositions concernant la manipulation et le stockage du gaz, l'accès pour le tronçon de remplacement, le soudage sur site, l'extraction de la fumée et le contrôle de la soudure. Il est également important d'envisager la procédure permettant de réaliser un essai à haute tension après la réparation.

10.4.102 Manipulation du gaz

Ce qui s'applique aux LIG remplies de gaz susceptibles d'avoir un impact sur l'environnement ou de créer un risque pour le personnel d'exploitation.

Pour les LIG utilisant du SF₆ ou des mélanges comprenant du SF₆, la CEI 62271-303 s'applique, en ajoutant les recommandations ci-dessous.

De manière générale, le gaz isolant doit être manipulé de façon à ne causer aucun effet néfaste à l'environnement et aux personnes. Si le gaz lui-même ou les produits de décomposition qui pourraient être générés dans certaines conditions de service, par exemple lors d'un arc interne, présentent un risque pour le personnel, des précautions appropriées doivent être prises pour assurer une manipulation sans risque, incluant la décontamination après tout rejet accidentel de produits à risque.

Les réglementations sur les concentrations maximales autorisées sur les lieux de travail pour le gaz utilisé dans l'installation doivent être respectées. Ceci peut demander l'installation de dispositifs de mesure de concentration de gaz, et d'une ventilation. Ceci est particulièrement important dans les tranchées, tunnels et lieux similaires avec un espace restreint à proximité de l'installation. Pour l'azote ou d'autres gaz qui ne présentent pas de risques d'inhalation en eux-mêmes, des précautions similaires doivent être prises pour éviter toute suffocation.

Si le gaz utilisé a un impact sur l'environnement, il ne doit pas, dans des conditions normales (par exemple: maintenance, réparation), être rejeté dans l'atmosphère. Ceci veut dire qu'il doit être récupéré au moyen d'un groupe de récupération ayant une capacité de stockage correspondant au plus grand volume de l'installation. Les fuites anormales doivent être

étanchées. Le gaz contaminé doit être soit recyclé au moyen du groupe de récupération et réutilisé, soit, si ce n'est pas possible, envoyé à une compagnie spécialisée dans la décontamination / le recyclage des déchets. Si les déchets sont considérés comme présentant un risque, des règles pertinentes de sécurité doivent être respectées pendant les manipulations et le transport.

11 Sécurité

L'article 11 de la CEI 62271-1 est applicable, à l'exception de ce qui suit.

Une LIG à haute tension ne peut être sûre que si elle est installée selon les règles d'installation applicables, et utilisée et entretenue selon les instructions du constructeur. Elle doit être exploitée et entretenue par des personnes qualifiées.

Dans la mesure où tout accès aux parties actives est absolument impossible, une LIG offre un degré de sécurité maximal. Toutefois, elle n'est normalement accessible qu'à des personnes averties.

Quand elle est installée dans une zone accessible au public, des mesures de sécurité supplémentaires doivent être exigées. On distingue deux types d'installation.

- En cas d'installation enterrée, il n'y a pas d'accès direct mais un marquage visible et une bande de marquage enterrée informe les personnes qu'un appareil électrique est enfoui à cet endroit. Il convient que les dispositions combinées à une épaisseur de terre suffisante (typiquement 1 m, se référer à 2.102) évitent tout contact accidentel. Les limites de charge potentielles de la zone située au-dessus de la tranchée doivent être clairement visibles tout au long du parcours.
- En cas d'installations au-dessus du sol, des barrières ou des moyens équivalents doivent longer la LIG de façon qu'aucun contact involontaire avec la LIG ou ses accessoires ne soit possible.

Les spécifications suivantes sont particulièrement importantes afin de garantir la sécurité du personnel:

11.1 Précautions prises par les constructeurs

Le paragraphe 11.1 de la CEI 62271-1 est applicable.

11.2 Précautions devant être prises par les utilisateurs

Le paragraphe 11.2 de la CEI 62271-1 est applicable.

11.3 Aspects électriques

Le paragraphe 11.3 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant:

- Effet d'un arc interne (voir 5.101)

11.4 Aspects mécaniques

- Contraintes mécaniques dues à l'environnement extérieur ou à l'interaction entre la LIG et son environnement:
 - mouvement des fondations, séismes, efforts du sol, vent, glace (voir 5.102.2, 5.20)
 - dilatation thermique (voir 5.106)
- Composants sous pression (voir 5.102.2, 5.103, 5.104)
- Protection contre les impacts mécaniques (voir CEI 62271-1)

11.5 Aspects thermiques

- Température maximale des parties accessibles (voir 4.4.2)
- Inflammabilité (voir CEI 62271-1)

11.101 Aspects liés à la maintenance

- Manipulation du gaz (voir 10.4.102)
- Travail du personnel de maintenance dans des tunnels (voir 5.105.2)

Les travaux du personnel de maintenance doivent être strictement limités. Quand une maintenance est nécessaire, ses conditions doivent être soigneusement définies, et doivent prendre en compte la conception de la LIG (volumes de gaz des compartiments, présence de dispositifs de décharge de pression, etc.) et le volume du tunnel.

- Mise à la terre des circuits principaux et de l'enveloppe (voir 5.3.101, 5.3.102)

12 Influence du produit sur l'environnement

L'article 12 de la CEI 62271-1 est applicable, avec le complément suivant:

Se référer aussi au 10.4.102.

Annexe A (informative)

Evaluation du courant permanent

A.1 Généralités

L'objectif de cette annexe est de définir le courant permanent de la LIG dans le cas où les conditions d'exploitation sont différentes de celles de l'essai de type; par exemple, LIG à l'air libre directement exposée au rayonnement solaire, LIG enterrée ou LIG dans un puits ou un tunnel à refroidissement forcé. Autres changements possibles: différences de distance entre les phases ou de position des phases en cas de LIG monophasée ou différences de courants dans les enveloppes consécutives à la mise à la terre. La méthode proposée donne les bases de l'évaluation du courant permanent, et se réfère à la CEI 60287-1-1.

Contrairement aux dispositions des normes applicables, l'évaluation du courant permanent peut ne pas être basée uniquement sur le calcul mais être déduite des valeurs de référence obtenues à partir des résultats de l'essai de type. Les normes concernées peuvent être utilisées pour le calcul. En cas d'utilisation d'autres méthodes de calcul appropriées, celles-ci peuvent être précisées. Le calcul est autorisé si l'échauffement du conducteur n'est pas supérieur à 15 K par rapport à l'essai de type effectué.

NOTE Bien que la CEI 60287-3-1 ait pour objet les câbles, les calculs donnés sont également valables pour la LIG, sauf mention contraire dans les considérations relatives à certains rapports (principalement en ce qui concerne les dimensions).

A.2 Symboles

D_c	diamètre du conducteur	(m)
D_e	diamètre de l'enveloppe	(m)
L	longueur de la LIG	(m)
n	nombre de phases dans une enveloppe	
$\Delta\theta_c$	échauffement moyen du conducteur	(K)
$\Delta\theta_{mc}$	échauffement maximal du conducteur	(K)
$\Delta\theta_e$	échauffement moyen de l'enveloppe	(K)
$\Delta\theta_{me}$	échauffement maximal de l'enveloppe	(K)
$\Delta\theta_{ce}$	différence moyenne de température entre le conducteur et l'enveloppe	(K)
I_s	courant permanent évalué	(kA)
K	coefficient d'échange thermique	
α	coefficient de température de la résistivité électrique	(1/K)
α_c	coefficient de température de la résistivité électrique dans le cas du conducteur	(1/K)
α_e	coefficient de température de la résistivité électrique dans le cas de l'enveloppe	(1/K)

A.3 Valeurs de référence

A.3.1 Généralités

Les valeurs de référence suivantes peuvent être déduites des résultats de l'essai de type:

- a) valeurs générales de l'essai de type;
- b) résistances en courant alternatif;
- c) dissipation;

- d) résistances thermiques;
- e) coefficients thermiques.

A.3.2 Valeurs générales de l'essai de type

L'essai de type réalisé doit donner ou permettre de déduire les valeurs suivantes:

I_r	courant assigné	(kA)
$\Delta\theta_{co}$	échauffement moyen du conducteur	(K)
$\Delta\theta_{mco}$	échauffement maximal du conducteur	(K)
R_{dco}	résistance en courant continu du conducteur à température ambiante	($\mu\Omega$)
I_{eo}	courant d'enveloppe	(kA)
$\Delta\theta_{eo}$	échauffement moyen de l'enveloppe	(K)
$\Delta\theta_{meo}$	échauffement maximal de l'enveloppe	(K)
R_{deo}	résistance en courant continu de l'enveloppe à température ambiante	($\mu\Omega$)
$\Delta\theta_{ceo}$	différence moyenne de température entre le conducteur et l'enveloppe	(K)

NOTE La température moyenne est déterminée à partir du profil des températures sur la longueur (testée).

A.3.3 Résistances en courant alternatif

La résistance en courant alternatif R_{co} du conducteur, lorsque ce dernier est à sa température moyenne peut être déduite soit de la résistance en courant continu mesurée R_{dco} et de la CEI 60287-3-1, soit par un calcul approprié.

La résistance en courant alternatif R_{eo} de l'enveloppe, lorsque cette dernière est à sa température moyenne, peut être déduite soit de la résistance en courant continu mesurée R_{deo} et de la CEI 60287-3-1, soit par un calcul approprié.

NOTE 1 Il convient également de prendre en compte la résistance de contact.

NOTE 2 Il convient de définir cette valeur de résistance de la LIG en fonction de la longueur de la LIG en question.

NOTE 3 Il est recommandé de prendre en compte l'effet de proximité; il peut être fait référence, par exemple, à la CEI 60287-3-1 ou à une documentation appropriée.

A.3.4 Dissipation

La dissipation dans le conducteur P_{co} , lorsque ce dernier est à sa température moyenne, peut être déterminée par:

$$P_{co} = I_r^2 \times R_{co}$$

La dissipation dans l'enveloppe P_{eo} , lorsque cette dernière est à sa température moyenne, peut être déterminée par la formule suivante, dans le cas où l'amplitude serait connue:

$$P_{eo} = I_{eo}^2 \times R_{eo}$$

Sinon, la dissipation dans l'enveloppe due à des courants de Foucault peut être déterminée par calcul (se référer à la CEI 60287-3-1 ou à une documentation appropriée).

A.3.5 Résistances thermiques

La résistance thermique T_{ceo} entre le conducteur et l'enveloppe est donnée par:

$$T_{ce0} = \Delta\theta_{ce0} / P_{co}$$

La résistance thermique T_{e0} entre l'enveloppe et l'environnement est donnée par:

$$T_{e0} = \Delta\theta_{e0} / [n \times P_{co} + P_{eo}]$$

A.3.6 Coefficient thermique

La résistance thermique T est donnée dans la CEI 60287-3-1 (résistance thermique dans l'air (milieu gazeux)) comme étant:

$$T = 1 / [\pi \times D \times K \times \theta^{0,25}]$$

où

K est le coefficient thermique;

D est le diamètre;

θ est la différence de température.

Les coefficients thermiques K_{ce} et K_e respectivement pour T_{ce} et T_e sont par conséquent donnés par:

$$K_{ce} = 1 / [T_{ce0} \times \pi \times D_c \times \Delta\theta_{ce0}^{0,25}]$$

$$K_e = 1 / [T_{e0} \times \pi \times D_e \times \Delta\theta_{e0}^{0,25}]$$

NOTE D'après la CEI/TR 60943, le rapport entre le courant et l'augmentation de température est le suivant:

$$I / 1,67 = K' \Delta\theta.$$

Par conséquent, d'après la CEI/TR 60943, la résistance thermique serait donnée par:

$$T = 1 / [\pi \times D \times K' \theta^{0,2}]$$

A.4 Evaluation des caractéristiques assignées du courant

A.4.1 Généralités

Il convient de prendre en considération les points suivants dans l'évaluation du courant permanent.

A.4.2 Echauffement maximal

Etant donné que les calculs sont basés sur l'échauffement moyen, le rapport suivant est utilisé pour déterminer l'échauffement maximal du conducteur en fonction de l'échauffement moyen du conducteur:

$$\delta\theta_{mc} = (I_s/I_r)^2 \times (\Delta\theta_{mco} - \Delta\theta_{co})$$

Par conséquent, l'échauffement maximal $\Delta\theta_{mc}$ du conducteur est donné par:

$$\Delta\theta_{mc} = \Delta\theta_c + \delta\theta_{mc}$$

L'échauffement maximal $\delta\theta_{me}$ de l'enveloppe est obtenu de la même manière.

A.4.3 Sources de chaleur

L'influence des phases adjacentes peut être prise en compte dans l'évaluation d'une source de chaleur extérieure.

A.4.3.1 Evaluation de la dissipation interne

La dissipation interne du conducteur pour la situation requise est donnée par:

$$P_c = (I_s/I_r)^2 \times P_{c0} [1 + \alpha_c \times (\Delta\theta_c - \Delta\theta_{c0})]$$

La dissipation de l'enveloppe pour la situation requise est donnée par:

$$P_e = (I_s/I_r)^2 \times P_{e0} [1 + \alpha_e \times (\Delta\theta_e - \Delta\theta_{e0})]$$

NOTE Dans le cas où le schéma de l'installation serait différent (exemple: différence de distance entre phases pour des équipements monophasés ou différence de mise à la terre), le calcul de la dissipation sera corrigé en conséquence.

A.4.3.2 Sources de chaleur extérieures

Il convient de prendre en compte les autres sources de chaleur extérieures telles que le rayonnement solaire, l'influence de phases adjacentes, etc. Dans ce qui suit, leur effet est désigné par le symbole P_s .

A.4.4 Résistances thermiques

A.4.4.1 Résistance thermique interne

La résistance thermique interne T_{ce} , entre le conducteur et l'enveloppe peut être calculée suivant la formule donnée en A.4.5. Le coefficient thermique calculé peut être utilisé.

A.4.4.2 Résistance thermique externe

La résistance thermique externe à l'environnement de l'enveloppe, T_e , est donnée en A.4.5, y compris le coefficient thermique, dans le cas d'une installation à l'air libre. Dans ce cas, l'influence du vent, etc. n'est pas prise en compte.

Dans d'autres cas, la résistance thermique externe, T_e , peut être déterminée, par exemple, conformément à la CEI 60287-3-1 ou à toute autre documentation appropriée.

NOTE La résistance thermique externe correspond à la résistivité thermique totale de l'enveloppe à l'environnement.

A.4.5 Evaluation de l'échauffement maximal

L'échauffement moyen prévu de l'enveloppe est défini par

$$\Delta\theta_e = T_e \times (n \times P_c + P_e + P_s)$$

L'échauffement maximal de l'enveloppe est alors donné par:

$$\Delta\theta_{me} = \Delta\theta_e + \delta\theta_{me}$$

et l'échauffement maximal du conducteur est donné par la relation suivante:

$$\Delta\theta_{mc} = \Delta\theta_e + \delta\theta_{mc} + T_{ce} \times P_c$$

A.4.6 Echauffements admissibles

L'échauffement de n'importe quel point de la LIG (conducteur, enveloppe, tunnel, etc.) peut être conforme à l'échauffement autorisé par la norme CEI applicable.

A.4.7 Evaluation du courant permanent

Le courant permanent est défini par la résolution simultanée des relations et des considérations des paragraphes de la présente annexe.

A.4.8 Documents informels

Pour plus d'informations, voir la référence [5] dans la Bibliographie.

Annexe B **(informative)**

Mise à la terre

B.1 Généralités

Le schéma de mise à la terre est conçu pour garantir l'absence de risques pour les personnes et de dommages aux équipements, dus à des différences de potentiel dangereuses dans les conditions normales ou anormales d'exploitation.

B.2 Limites de sécurité quant à l'augmentation du potentiel

Il convient que le schéma de mise à la terre soit conçu de façon à tenir compte des augmentations de potentiel dues à des courants de défaut, à des courants haute fréquence associés à une tension transitoire d'enveloppe (voir ci-dessous) et, pour certains types de connexion des enveloppes, à des tensions en régime permanent (voir ci-dessous).

Il convient que les valeurs des tensions de contact, des tensions de pas et des tensions couplées acceptables pour la sécurité des personnes soient déterminées en tenant compte de la CEI/TS 60479-1 et de la CEI/TS 60479-2. On attire l'attention sur d'autres limites relatives à l'augmentation du potentiel qui pourraient être imposées par des règlements locaux (tensions en régime permanent, tensions induites).

B.3 Enveloppes

Une LIG est contenue dans une enveloppe conductrice au potentiel de la terre ou proche de ce potentiel.

B.4 Electrodes de terre

Une électrode de terre fournit un chemin à la terre de faible impédance, à la fois pour les courants de défaut et les courants haute fréquence associés à une tension transitoire d'enveloppe (voir ci-dessous).

Il convient que l'électrode de terre soit conçue en tenant compte du courant maximal du défaut à la terre et de la durée maximale du défaut à la terre à l'emplacement considéré dans le réseau, ainsi que de la résistivité du sol afin d'éviter les différences de potentiel dangereuses.

Il convient de choisir la section de l'électrode de terre de manière qu'elle supporte, avec un échauffement acceptable, le courant maximal du défaut à la terre et sa durée maximale à l'emplacement considéré dans le réseau.

Il est recommandé que les connexions soient conçues en tenant compte du courant maximal du défaut à la terre et de sa durée maximale à l'emplacement considéré dans le réseau.

Il convient que l'électrode de terre soit conçue en tenant compte des contraintes mécaniques pouvant survenir pendant l'installation et dans des états de défaut.

Il convient que l'électrode de terre soit réalisée dans une matière résistante à la corrosion.

B.5 Conducteurs du circuit de mise à la terre

Il se peut que les conducteurs du circuit de mise à la terre aient à transporter à la fois des courants de défaut et des courants haute fréquence associés à des tensions transitoires d'enveloppe (voir ci-dessous). Dans certains cas, les conducteurs transporteront des courants homopolaires ou bien des courants de circulation à fréquence industrielle.

Il convient que le conducteur soit conçu en tenant compte de tous les courants susceptibles de transiter afin d'éviter les différences de potentiel dangereuses.

Il convient que les conducteurs soient larges (typiquement, plus de 50 mm de largeur), aussi courts que possible, et qu'ils changent le moins possible de direction, afin d'obtenir une inductance faible. Il est recommandé d'éviter les coudes en équerre dans les conducteurs.

Il convient de choisir la section du conducteur de terre de manière qu'il supporte, avec un échauffement acceptable, tout courant susceptible de transiter.

Il convient que les connexions soient conçues en tenant compte de tous les courants susceptibles de transiter.

Il est recommandé que le conducteur soit conçu en tenant compte des contraintes mécaniques pouvant survenir en cas de défaut.

B.6 Continuité de la terre

La continuité électrique entre les circuits de mise à la terre à chaque extrémité de la ligne de transport est nécessaire pour fournir un chemin de faible impédance aux courants homopolaires.

Lorsqu'il est impossible d'utiliser les enveloppes pour assurer une bonne continuité de terre, il est nécessaire d'avoir un conducteur de continuité de terre séparé.

B.7 Tensions induites

Il convient que le circuit de mise à la terre soit conçu de façon à éviter l'écoulement dans la terre de courants élevés (il ne s'agit pas du courant dans l'enveloppe en fonctionnement normal), étant donné que ceux-ci peuvent induire des tensions dangereuses dans les circuits de communication voisins, pipelines etc., susceptibles d'appartenir à d'autres services.

B.8 Tensions transitoires d'enveloppe

Des événements tels que des manœuvres d'appareillage (en particulier le fonctionnement d'un sectionneur), des défauts, des coups de foudre ou encore le fonctionnement de parafoudres provoquent des transitoires à front rapide. Dans ces circonstances, des discontinuités dans les enveloppes (par exemple là où une bride isolante constitue la partie essentielle de la structure ou au niveau de traversées gaz/air) permettront aux courants haute fréquence de se coupler et de se propager à l'extérieur des enveloppes, provoquant ainsi des tensions transitoires d'enveloppe. Le schéma de mise à la terre est conçu de façon à limiter les effets des tensions transitoires d'enveloppe.

B.9 Résistances non linéaires

Afin d'assurer une protection contre les effets des tensions transitoires d'enveloppe, il convient que des dispositifs de protection (résistances non linéaires) soient installés là où les extrémités des enveloppes ne sont pas reliées à la terre.

Il convient que la tension assignée des dispositifs soit coordonnée avec les tensions en régime permanent induites par le courant assigné et le courant de court-circuit (voir B.10). Il convient que les dispositifs aient une absorption d'énergie et une réponse en haute fréquence appropriées.

Il convient de les disposer de manière à obtenir une faible inductance de connexion, grâce à une longueur réduite des liaisons et à la mise en parallèle de plusieurs dispositifs.

B.10 Connexions et mises à la terre des enveloppes

B.10.1 Généralités

Il est prévu que la plupart des installations LIG soient court-circuitées et mises à la terre aux deux extrémités. Cependant, lorsque d'autres méthodes de connexion sont utilisées, telles que la mise à la terre en un seul point ou la permutation, il est nécessaire de prendre des précautions supplémentaires au niveau de la conception du système de mise à la terre afin de gérer les effets des tensions en régime permanent, ainsi que des tensions et des courants induits.

Il peut s'avérer nécessaire de mettre l'enveloppe à la terre en d'autres points le long de la ligne afin de réduire la montée du potentiel de terre dans des conditions de défaut interne.

Lorsque les trois phases d'une ligne de transport sont contenues dans une seule enveloppe, l'enveloppe peut être mise à la terre aux deux extrémités de la ligne de transport. En principe l'enveloppe assurera une bonne continuité à la terre entre ses deux extrémités et il sera inutile d'utiliser un conducteur de terre séparé.

Les enveloppes peuvent être court-circuitées et mises à la terre à une extrémité et isolées de la terre à l'autre extrémité (mise en court-circuit en extrémité) ou être court-circuitées et mises à la terre en leur milieu et isolées de la terre aux deux extrémités (mise en court-circuit au point milieu). La ligne de transport peut être constituée par un certain nombre de tronçons élémentaires, la mise en court-circuit et à la terre des enveloppes de chaque tronçon étant réalisée en un seul point.

Pour assurer la protection contre les effets des tensions transitoires, les dispositifs de protection (résistances non linéaires) sont raccordées aux extrémités des tronçons élémentaires, là où les enveloppes sont isolées de la terre.

B.10.2 Permutation

Dans une installation permutée, les enveloppes sont raccordées en série aux extrémités de chaque tronçon élémentaire en effectuant une rotation de phase, de sorte que les f.e.m. induites le long des enveloppes tendent vers zéro après trois tronçons élémentaires. La tension d'enveloppe est par conséquent maîtrisée et les courants de circulation sont pratiquement éliminés. Toutefois, des courants de Foucault seront généralement induits dans les parois des enveloppes et ceux-ci contribueront à la dissipation thermique totale de la ligne.

Les enveloppes peuvent être mises en court-circuit et à la terre aux extrémités d'une ligne de transport et subir en permanence des permutations sur toute la longueur de la ligne (permutation continue) ou bien mises en court-circuit et à la terre aux extrémités d'un certain nombre de tronçons principaux, chacun d'eux consistant en trois tronçons permutés secondaires (permutation ternaire).

Pour assurer la protection contre les effets des tensions transitoires, des dispositifs de protection (résistances non linéaires) sont raccordés aux extrémités des tronçons élémentaires, là où les enveloppes sont isolées de la terre.

Lorsque la résistance de terre est élevée, il peut s'avérer nécessaire d'utiliser un conducteur de continuité de terre séparé pour empêcher le dépassement des caractéristiques des dispositifs de protection en cas de défaut interne.

B.11 Application à des installations directement enterrées

Lorsqu'une installation est directement enterrée, le circuit de mise à la terre doit être conçu de façon à s'adapter aux exigences de protection contre la corrosion conformément au 5.12 (voir Figure B.1).

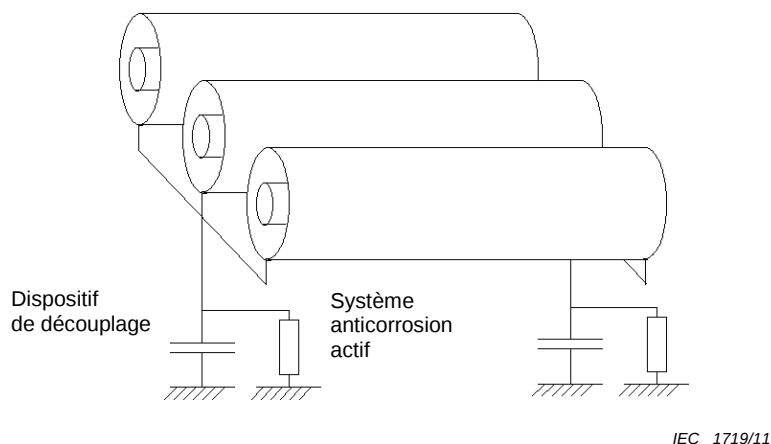


Figure B.1 – Exemple de schéma de mise à la terre avec système anticorrosion actif dans le cas d'une mise en court-circuit et à la terre de l'enveloppe aux deux extrémités

Il convient que le circuit de mise à la terre soit conçu en fonction du niveau d'isolation du revêtement anticorrosion.

Afin de pouvoir effectuer des essais électriques du système de protection passive contre la corrosion, il convient d'utiliser des liaisons mobiles comme spécifié en 6.104.

Il convient que la conception du circuit de mise à la terre et la protection active contre la corrosion soient coordonnées, afin que le système actif de protection contre la corrosion ne soit pas endommagé par des courants circulant des enveloppes vers la terre.

B.12 Documents informels

Pour plus d'informations, voir les références [3] et [4] dans la Bibliographie.

Annexe C **(normative)**

Essais de longue durée des installations enterrées

C.1 Evaluation du comportement à long terme

C.1.1 Généralités

Les points à prendre en compte pour évaluer le comportement à long terme sont les suivants:

- les performances thermomécaniques de l'ensemble;
- la protection contre la corrosion des enveloppes.

C.1.2 Performances thermomécaniques

Si elles n'ont pas été prises en compte, les contraintes thermomécaniques peuvent causer des dommages mécaniques à la LIG, et éventuellement provoquer la rupture de l'enveloppe. Par conséquent, quel que soit le dispositif utilisé pour neutraliser les effets de dilatation et de contraction thermiques, particulièrement au niveau des enveloppes, il est nécessaire d'effectuer l'évaluation dans les conditions effectives de la pose enterrée. Il est nécessaire que l'installation testée soit suffisamment longue pour que tout mouvement thermomécanique soit représentatif de ce qui pourrait survenir en service.

NOTE Performances du matériau de remblai

Il peut s'avérer difficile d'évaluer le sol sur la totalité du tracé à moins d'utiliser un remblai dont les propriétés sont connues. On suppose qu'un sol normal va atteindre la valeur de résistivité thermique correspondant au sol sec pour une température comprise entre 50 °C et 60 °C et le non-assèchement du sol pour une température inférieure à cette valeur. Ces chiffres sont utilisés pour les calculs de caractéristiques détaillés à l'Annexe A. Les températures du sol et par conséquent les caractéristiques du système peuvent être calculées en tenant compte des valeurs constatées pour la matière sèche à condition que les valeurs de résistivité thermique soient connues.

C.1.3 Protection des enveloppes contre la corrosion

Il est important que le revêtement de protection de l'enveloppe ne se perce pas en fonctionnement. Les performances du revêtement peuvent être évaluées soit grâce à des essais d'immersion dans l'eau de longue durée soit par des essais d'enfouissement de longue durée dans un sol humide. Pendant ce temps, il convient de faire subir des cycles thermiques à la LIG, qui permettront d'observer l'effet des cycles de température sur la migration de l'eau. La détérioration du revêtement peut être décelée en appliquant régulièrement une tension d'essais et en mesurant la valeur du courant de fuite.

C.2 Liste des essais de longue durée

Les essais de développement doivent être achevés par le fabricant avant la réalisation des essais de longue durée. L'objet de ces essais est d'évaluer les performances à long terme du système LIG complet. Ils n'auront à être effectués qu'une seule fois, à moins que le système LIG ne subisse une modification substantielle affectant les matériaux, le procédé de fabrication ou la conception. Il convient que l'installation d'essais comprenne 50 m à 100 m de LIG, y compris les équipements auxiliaires (dispositifs de contrôle du gaz, de détection des décharges partielles et de décharge de pression). Il convient qu'un exemplaire au moins de chaque composant utilisé dans le système soit essayé et que le montage d'essais soit représentatif de la conception d'une installation. Il est recommandé que les essais de longue durée couvrent une période de douze mois.

La définition de la procédure d'essai est à l'étude. La procédure décrite ci-dessous est proposée à titre indicatif.

Il est recommandé de procéder aux essais suivants avant et après les essais de longue durée:

- a) mesure de l'échauffement de l'extérieur des enveloppes (conformément au 4.4.2) et à des distances prédéfinies des enveloppes dans le matériau de remblai;
- b) mesure de la résistance du circuit principal;
- c) niveaux de décharges partielles internes de la LIG;
- d) essai de tenue diélectrique;
- e) taux de fuite de gaz;
- f) à l'issue des essais, un essai diélectrique jusqu'au claquage peut être effectué.

Les essais longue durée peuvent inclure:

- un essai de longue durée aux cycles thermiques;
Soumettre aux contraintes thermomécaniques les jeux de barres et tout dispositif de compensation des dilatations.
- un essai relatif aux performances des protections contre la corrosion;
Ces performances sont à évaluer dans des conditions de cycles thermiques et concernent la totalité de l'installation d'essais et des équipements auxiliaires.
- un essai relatif aux performances du remblai;
Cet essai doit être effectué si les performances du remblai ne sont pas connues ou ne peuvent être garanties.

Bibliographie

- [1] CEI 60071-1, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*
 - [2] CEI 60287-1-1, *Câbles électriques – Calcul du courant admissible – Partie 1-1: Equations de l'intensité du courant admissible (facteur de charge 100%) et calcul des pertes – Généralités*
 - [3] CEI/TS 60479-1:2005, *Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques – Partie 1: Aspects généraux*
 - [4] IEC/TS 60479-2:2007, *Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques – Partie 2: Aspects particuliers*
 - [5] CEI/TR 60943:1998, *Guide concernant l'échauffement admissible des parties des matériels électriques, en particulier les bornes de raccordement*
Amendement 1 (2008)
 - [6] CIGRE Brochure 163:2000, *Guide for SF₆ gas mixtures* (disponible en anglais seulement)
 - [7] CIGRE Brochure 260:2004, *N₂/SF₆ mixtures for gas insulated systems* (disponible en anglais seulement)
 - [8] CIGRE Brochure 360:2008, *Insulation co-ordination related to internal insulation of gas insulated systems with SF₆ and N₂/SF₆ gas mixtures under AC condition* (disponible en anglais seulement)
-

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