

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Low-voltage switchgear and controlgear –
Part 4-3: Contactors and motor-starters – AC semiconductor controllers and
contactors for non-motor loads**

**Appareillage à basse tension –
Partie 4-3: Contacteurs et démarreurs de moteurs – Gradateurs et contacteurs à
semiconducteurs pour charges, autres que des moteurs, à courant alternatif**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

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

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

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

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



IEC 60947-4-3

Edition 2.0 2014-05

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Low-voltage switchgear and controlgear –
Part 4-3: Contactors and motor-starters – AC semiconductor controllers and
contactors for non-motor loads**

**Appareillage à basse tension –
Partie 4-3: Contacteurs et démarreurs de moteurs – Gradateurs et contacteurs à
semiconducteurs pour charges, autres que des moteurs, à courant alternatif**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XC

ICS 29.130.20, 31.180

ISBN 978-2-8322-1567-8

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

CONTENTS

FOREWORD.....	6
INTRODUCTION.....	8
1 Scope	9
2 Normative references	10
3 Terms, definitions, symbols and abbreviations	10
3.1 Terms and definitions concerning a.c. semiconductor (non-motor-load) control devices.....	11
3.1.1 AC semiconductor controllers and contactors (solid-state contactors) (see Figure 1).....	11
3.1.2 Hybrid controllers and contactors (see Figure 1).....	14
3.2 Vacant	18
3.3 Symbols and abbreviations	18
4 Classification.....	18
5 Characteristics of a.c. semiconductor controllers and contactors	19
5.1 Summary of characteristics	19
5.2 Type of equipment	19
5.3 Rated and limiting values for main circuits	22
5.3.1 Rated voltages	22
5.3.2 Currents	22
5.3.3 Rated frequency	22
5.3.4 Rated duty	22
5.3.5 Normal load and overload characteristics	23
5.3.6 Rated conditional short-circuit current.....	24
5.4 Utilization category	24
5.4.1 Assignment of ratings based on the results of tests	25
5.5 Control circuits.....	26
5.6 Auxiliary circuits.....	26
5.7 Vacant	26
5.8 Coordination with short-circuit protective devices (SCPD)	26
6 Product information	26
6.1 Nature of information	26
6.2 Marking.....	28
6.3 Instructions for installation, operation and maintenance	28
7 Normal service, mounting and transport conditions.....	28
7.1 Normal service conditions	28
7.1.1 Ambient air temperature	28
7.1.2 Altitude	28
7.1.3 Atmospheric conditions.....	28
7.1.4 Shock and vibrations	29
7.2 Conditions during transport and storage.....	29
7.3 Mounting.....	29
7.4 Electrical system disturbances and influences	29
8 Constructional and performance requirements	29
8.1 Constructional requirements	29
8.1.1 General	29

8.1.2	Materials	29
8.1.3	Current-carrying parts and their connections	29
8.1.4	Clearances and creepage distances	29
8.1.5	Actuator.....	30
8.1.6	Indication of the contact position	30
8.1.7	Additional requirements for equipment suitable for isolation.....	30
8.1.8	Terminals	30
8.1.9	Additional requirements for equipment provided with a neutral pole	30
8.1.10	Provisions for protective earthing.....	30
8.1.11	Enclosures for equipment	30
8.1.12	Degrees of protection of enclosed equipment	30
8.1.13	Conduit pull-out, torque and bending with metallic conduits	30
8.2	Performance requirements.....	30
8.2.1	Operating conditions.....	30
8.2.2	Temperature rise	32
8.2.3	Dielectric properties.....	34
8.2.4	Normal load and overload performance requirements	35
8.2.5	Coordination with short-circuit protective devices	42
8.3	EMC requirements	42
8.3.1	General	42
8.3.2	Emission.....	43
8.3.3	Immunity.....	43
9	Tests	45
9.1	Kinds of tests	45
9.1.1	General	45
9.1.2	Type tests.....	45
9.1.3	Routine tests	45
9.1.4	Sampling tests.....	45
9.1.5	Special tests.....	46
9.2	Compliance with constructional requirements.....	46
9.3	Compliance with performance requirements	46
9.3.1	Test sequences	46
9.3.2	General test conditions	47
9.3.3	Performance under no load, normal load and overload conditions	47
9.3.4	Performance under short-circuit conditions	54
9.3.5	Disponible	58
9.4	General.....	58
9.4.1	EMC emission tests	58
9.4.2	EMC immunity tests	59
9.5	Routine and sampling tests	61
9.5.1	General	61
9.5.2	Operation and operating limits	61
9.5.3	Dielectric tests.....	61
Annex A (normative)	Marking and identification of terminals	62
A.1	General.....	62
A.2	Marking and identification of terminals of controller and contactors	62
A.2.1	Marking and identification of terminals of main circuits	62

A.2.2	Marking and identification of terminals of control circuits	62
A.2.3	Marking and identification of auxiliary circuits	62
Annex B (informative)	Typical service conditions for controllers and contactors	65
B.1	Control of resistive heating elements	65
B.2	Switching of electric discharge lamp controls	65
B.3	Switching of incandescent lamps	66
B.4	Switching of transformers.....	66
B.5	Switching of capacitor banks.....	66
Annex C	Vacant.....	67
Annex D	Vacant.....	68
Annex E	Vacant	69
Annex F (informative)	Operating capability.....	70
Annex G	Vacant.....	73
Annex H	Vacant.....	74
Annex I (normative)	Modified test circuit for short-circuit testing of semiconductor contactors and controllers.....	75
Annex J (informative)	Flowchart for constructing bypassed semiconductor controllers tests	77
Bibliography		78
Figure 1	– Graphical possibilities of controllers	13
Figure 2	– Methods of connecting	21
Figure F.1	– Thermal stability test profile	70
Figure F.2	– Overload capability test profile	71
Figure F.3	– Blocking and commutating capability test profile	72
Figure I.1	– Modified circuit for short-circuit testing of semiconductor devices.....	75
Figure I.2	– Time line for the short-circuit test of 9.3.4.1.6	76
Table 1	– Functional possibilities of controllers and contactors	14
Table 2	– Utilization categories	25
Table 3	– Relative levels of severity.....	25
Table 4	– Temperature rise limits for insulated coils in air and in oil.....	34
Table 5	– Intermittent duty test cycle data.....	34
Table 6	– Minimum overload current withstand time (T_X) in relation to overload current ratio (X)	36
Table 7	– Minimum requirements for thermal stability test conditions	37
Table 8	– Minimum requirements for overload capability test conditions	38
Table 9	– Minimum requirements and conditions for performance testing, including blocking and commutating capability.....	39
Table 10	– Making and breaking capacity test – Making and breaking conditions according to utilization categories for the mechanical switching device of hybrid semiconductor controller and contactor H4, H5.....	40
Table 11	– Conventional operational performance – Making and breaking conditions according to utilization categories for the mechanical switching device of hybrid controllers and contactors H4B, H5B	41
Table 12	– Specific performance criteria when EM disturbances are present	44

Table 13 – Thermal stability test specifications	51
Table 14 – Initial case temperature requirements.....	52
Table 15 – Terminal disturbance voltage limits for conducted radiofrequency emission.....	59
Table 16 – Radiated emissions test limits	59
Table A.1 – Main circuit terminal markings.....	62

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

LOW-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

**Part 4-3: Contactors and motor-starters –
AC semiconductor controllers and
contactors for non-motor loads**

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 60947-4-3 has been prepared by subcommittee 17B: Low-voltage switchgear and controlgear, of IEC technical committee 17: Switchgear and controlgear.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1999, Amendment 1:2006 and Amendment 2:2011. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) Update of the marking requirements (6.1);
- b) Update of the EMC requirements (8.3.2); and
- c) Update of the tests requirements (9.3.1, 9.4, 9.4.1.1, 9.4.1.2, 9.4.2.1, 9.4.2.2, 9.4.2.3, 9.4.2.4, 9.4.2.6).

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

FDIS	Report on voting
121A/2/FDIS	121A/14/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.

A list of all parts in the IEC 60947 series, published under the general title *Low-voltage switchgear and controlgear*, can be found on the IEC website.

This standard shall be read in conjunction with IEC 60947-1, *Low voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules*. The provisions of the general rules are applicable to this standard, where specifically called for.

The provisions of the general rules (IEC 60947-1) are applicable to this standard, where specifically called for. Clauses and subclauses thus applicable, as well as tables, figures, and annexes, are identified by reference to IEC 60947-1, for example 1.2.3 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010), Table 4 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) or Annex A of IEC 60947-1:2007.

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.

INTRODUCTION

This part of IEC 60947 covers low-voltage a.c. semiconductor controllers and contactors (solid-state contactors) intended for the use with non-motor loads. As controllers, they have many capabilities beyond the simple switching on and off of non-motor loads. As contactors, they perform the same functions as mechanical contactors, but utilize one or more semiconductor switching devices in their main poles.

The devices may be single-pole or multi-pole (see 2.3.1 of IEC 60947-1:2007,). This standard refers to complete devices rated as a unit incorporating all necessary heat-sinking material and terminals. It includes devices with all necessary terminals, which are supplied with or without heat-sink in knocked-down form for combination by the users, when the manufacturer gives with the device detailed information about choosing the heat-sink and mounting the device on the heat-sink.

The generic term, "controller", is used in this standard wherever the unique features of the power semiconductor switching elements are the most significant points of interest. The generic term "contactor" is used in this standard wherever the feature of simple switching on and off is the most significant point of interest. Specific designations (for example, form 4, form HxB, etc.) are used wherever the unique features of various configurations comprise significant points of interest.

LOW-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 4-3: Contactors and motor-starters – AC semiconductor controllers and contactors for non-motor loads

1 Scope

This part of IEC 60947 applies to a.c. semiconductor non-motor load controllers and contactors intended for performing electrical operations by changing the state of a.c. electric circuits between the ON-state and the OFF-state. Typical applications are classified by utilization categories given in Table 2.

As controllers, they may be used to reduce the amplitude of the r.m.s. a.c. voltage on the load terminals from that of the applied voltage – either continuously or for a specified period of time. The half-wave period of the a.c. wave form remains unchanged from that of the applied voltage.

They may include a series mechanical switching device and are intended to be connected to circuits, the rated voltage of which does not exceed 1 000 V a.c.

This standard characterizes controllers and contactors for use with or without bypass switching devices.

The semiconductor controllers and contactors dealt with in this standard are not normally intended to interrupt short-circuit currents. Therefore, suitable short-circuit protection (see 8.2.5) should form part of the installation but not necessarily of the controller itself.

In this context, this standard gives requirements for semiconductor controllers and contactors associated with separate short-circuit protective devices.

This standard does not apply to:

- operation of a.c. and d.c. motors;
- low-voltage a.c. semiconductor motor controllers and starters covered by IEC 60947-4-2;
- electronic a.c. power controllers covered by the IEC 60146 series;
- all-or-nothing solid-state relays.

Contactors and control-circuit devices used in semiconductor controllers and contactors should comply with the requirements of their relevant product standard. Where mechanical switching devices are used, they should meet the requirements of their own IEC product standard and the additional requirements of this standard.

The object of this standard is to state

- a) the characteristics of semiconductor controllers and contactors and associated equipment;
- b) the conditions with which semiconductor controllers and contactors should comply with reference to:
 - their operation and behaviour;
 - their dielectric properties;
 - the degrees of protection provided by their enclosures, where applicable;

- their construction;
- c) the tests intended for confirming that these conditions have been met, and the methods to be adopted for these tests;
- d) the information to be given with the equipment or in the manufacturer's literature.

2 Normative references

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

IEC 60269-1:2006, *Low-voltage fuses – Part 1: General requirements*

IEC 60410:1973, *Sampling plans and procedures for inspection by attributes*

IEC 60947-1:2007, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules*
Amendment 1:2010

IEC 61000-4 (all parts), *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques*

IEC 61000-4-5:2005, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*

CISPR 11:2009, *Industrial, scientific and medical equipment – Radio-frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurement*
Amendment 1:2010

3 Terms, definitions, symbols and abbreviations

For the purposes of this document, the terms and definitions given in Clause 2 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010), as well as the following additional terms and definitions apply:

	Reference
A	
AC semiconductor controller	3.1.1.1
B	
Bypassed controller	3.1.24
C	
Current-limit function	3.1.3
D	
Defined-point switching (of a semiconductor controller)	3.1.14.4.1
F	
Full-on (state of controllers)	3.1.10
H	
Hybrid controllers or contactors, form HxA (where x = 4 or 5)	3.1.2.1
Hybrid controllers or contactors, form HxB	3.1.2.2
I	
Instantaneous switching function	3.1.14.3
L	
Load control	3.1.4
M	

Minimum load current	3.1.11
Minimum load current detection	3.1.11.1
O	
OFF-state	3.1.12
OFF-state leakage current	3.1.13
OFF-time	3.1.23
ON-state	3.1.9
ON-time	3.1.22
OPEN position	3.1.2.3
Operating capability	3.1.16
Operating cycle (of a controller)	3.1.15
Operation (of a controller)	3.1.14
Overcurrent protective means OCPM	3.1.21
Overload current profile	3.1.17
R	
Ramp-down	3.1.6
Ramp-up	3.1.5
Random point switching (of a semiconductor controller)	3.1.14.4.3
Rating index	3.1.18
S	
Semiconductor controller (form 4)	3.1.1.1.1
Semiconductor direct-on-line (DOL) controller (form 5)	3.1.1.1.3
Switching function	3.1.14.1
Switching point	3.1.14.4
T	
Trip-free controller	3.1.20
Tripping operation (of a controller)	3.1.19
Z	
Zero-point switching (of a semiconductor controller)	3.1.14.4.2

3.1 Terms and definitions concerning a.c. semiconductor (non-motor-load) control devices

3.1.1 AC semiconductor controllers and contactors (solid-state contactors) (see Figure 1)

3.1.1.1

a.c. semiconductor controller

semiconductor switching device that provides a switching function for an a.c. electrical load (non-motor load) and an OFF-state

Note 1 to entry: Because dangerous levels of leakage currents (see 3.1.13) can exist in a semiconductor controller in the OFF-state, the load terminals should be considered to be live at all times.

Note 2 to entry: In a circuit where the current passes through zero (alternately or otherwise), the effect of "not making" the current following such a zero value is equivalent to breaking the current.

Note 3 to entry: See 2.2.3 of IEC 60947-1:2007 for the definition of semiconductor switching device.

3.1.1.1.1

semiconductor controller (form 4)

a.c. semiconductor controller in which the switching function may comprise any method specified by the manufacturer. It provides control functions which may include any combination of ramp-up, load control or ramp-down. A full-on state may also be provided

3.1.1.1.2

Vacant

3.1.1.1.3**semiconductor direct-on-line controller** (form 5)**semiconductor DOL controller** (form 5)

special form of a.c. semiconductor controller in which the switching function is limited to the full-voltage, unramped method only and where the additional control function is limited to providing FULL-ON (also known as a semiconductor contactor or solid-state contactor)

Note 1 to entry: It is a device (see 2.2.13 of IEC 60947-1:2007) which performs the function of a contactor by utilizing a semiconductor switching device (see 2.2.3 of IEC 60947-1:2007). It has only one position of rest (OFF-state or Open state in the case of an HxB hybrid controller) and is operated by the application of a control signal. It is capable of carrying load currents as well as changing the state of the said load (electrical circuit) between the FULL-ON and the OFF-states (Open) under normal circuit conditions including operating overload conditions.

3.1.1.2
Vacant

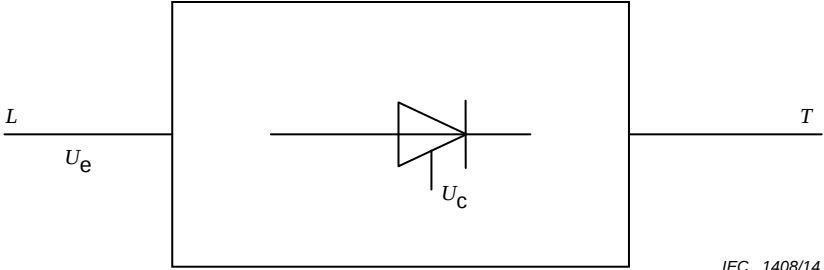
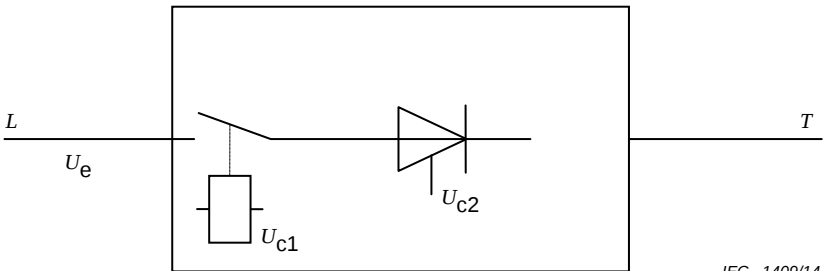
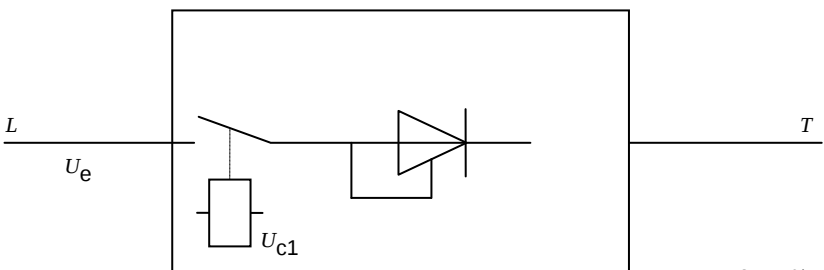
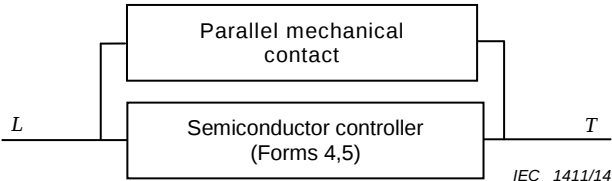
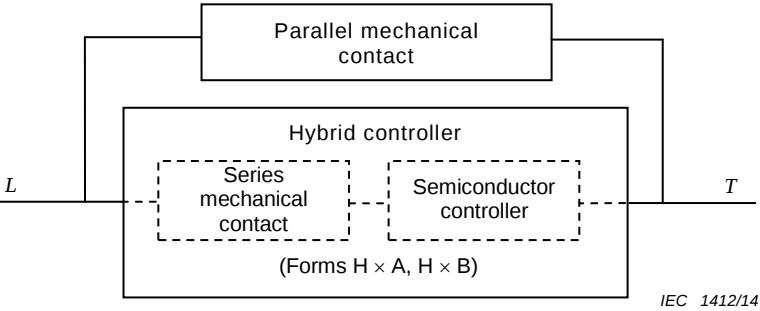
Device	
Controller (all forms)	
Hybrid controller HxA ^a where x = 4 or 5	
Hybrid controller HxB ^b where x = 4 or 5	
Bypassed controller	
Bypassed hybrid controller ^c	
^a Two separate controls for the controller and the series mechanical switching device respectively. ^b One control only for the series mechanical switching device. ^c For other configurations, tests can be suitably adapted by agreement between the user and the manufacturer.	

Figure 1 – Graphical possibilities of controllers

Table 1 – Functional possibilities of controllers and contactors

Device	Form 4	Form 5
Semiconductor controller	OFF-state Ramp-up Load control FULL-ON state Ramp-down	Not available
Semiconductor DOL contactor	Not available	OFF-state Switch-on function FULL-ON state
Hybrid controller H _x A ^a where $x = 4$ or 5	H4A: – open state – OFF-state – ramp-up – load control – FULL-ON state – ramp-down	H5A: – open state – OFF-state – switch-on function – FULL-ON state
Hybrid controller H _x B ^b where $x = 4$ or 5	H4B: – open state – ramp-up – load control – FULL-ON state – ramp-down	H5B: – open state – switch-on function – FULL-ON state
^a Two separate controls for the controller and the series mechanical switching device, respectively. ^b One control only for the series mechanical switching device.		

3.1.2 Hybrid controllers and contactors (see Figure 1)

3.1.2.1

hybrid controllers form H_xA (where $x = 4$ or 5)

hybrid contactors form H_xA (where $x = 4$ or 5)

form 4, or form 5 semiconductor controller in series with a mechanical switching device all rated as a unit

Note 1 to entry: Separate control commands are provided for the series mechanical switching device and the semiconductor controller or contactor. All the control functions appropriate to the form of controller specified are provided together with an OPEN position.

3.1.2.2

hybrid controllers form H_xB (where $x = 4$ or 5)

hybrid contactors form H_xB (where $x = 4$ or 5)

form 4 or form 5 semiconductor controller in series with a mechanical switching device all rated as a unit

Note 1 to entry: A single control command is provided for both the series mechanical switching device and the semiconductor controller or contactor. All the control functions appropriate to the form of controller specified are provided with the exception of an OFF-state.

3.1.2.3

OPEN position

condition of a hybrid semiconductor controller when the series mechanical switching device is in the OPEN position

Note 1 to entry: See 2.4.21 of IEC 60947-1:2007 for the definition of open position.

3.1.3

current-limit function

ability of the controller to limit the load current to a specified value

Note 1 to entry: It does not include the ability to limit the instantaneous current under conditions of short circuit.

3.1.4

load control

any deliberate operation which causes changes in the effective power available to the load through variation of either

- an imposed operating cycle (i.e. variation of the cyclic duration factor F and/or the number of operating cycles per hour S , see 5.3.4.6)
or
- the load terminal voltage (for example, through phase-angle control)
or
- a combination of these

Note 1 to entry: Switch-on is a mandatory form of load control that is recognized separately.

Note 2 to entry: Load control can be performed by a form 5 controller, if an external switching device or control circuit causes the cyclic transition from the OFF-state to the FULL-ON state and back again (i.e. load control by operating cycle).

3.1.5

ramp-up

switching (switch-on) function which causes the transition from the OFF-state (or from the open state, in the case of a HxB hybrid controller) to the ON-state (i.e. to the FULL-ON state or to a load control operation) over a defined period of time (the ramp-up time)

3.1.6

ramp-down

switching (switch-off) function which causes the transition from the ON-state (i.e. either from FULL-ON or from a load control operation) to the OFF-state (or the open state, in the case of an HxB hybrid controller) over a defined period of time (ramp-down time)

3.1.7

Vacant

3.1.8

Vacant

3.1.9

ON-state

condition of a semiconductor controller when the conduction current can flow through its main circuit

3.1.10

FULL-ON

condition of a controller when the controlling functions are set to provide normal full-voltage excitation to the load

3.1.11

minimum load current

minimum operational current in the main circuit which is necessary for correct action of a controller in the ON-state

Note 1 to entry: The minimum load current should be given as the r.m.s. value.

3.1.11.1

minimum load current detection

ability of the controller to detect and signal that the load current is below a specified minimum value, for which signalling can be achieved by the OFF or open states

3.1.12

OFF-state

condition of a controller when no control signal is applied and no current exceeding the OFF-state leakage current flows through the main circuit

3.1.13

OFF-state leakage current

I_L

current which flows through the main circuit of a semiconductor contactor in the OFF-state

3.1.14

operation of a controller

operation of a controller

transition from the ON-state to the OFF-state or the reverse

3.1.14.1

switching function

function designed to make or break the current during the operation of a controller

3.1.14.2

Vacant

3.1.14.3

instantaneous switching function

switching function which causes the instantaneous transition from the ON-state (i.e. either from FULL-ON or from a load control operation) to the OFF-state (or the open state, in the case of an HxB hybrid controller) or vice versa

Note 1 to entry: In the case of switch-off, the term "instantaneous" is used to mean the minimum opening time (see 2.5.39 of IEC 60947-1:2007).

Note 2 to entry: In the case of switch-on, the term "instantaneous" is used to mean make time (see 2.5.43 of IEC 60947-1:2007) plus the transient time determined only by external circuit impedance.

3.1.14.4

switching point

point on the wave form of the applied voltage at which the semiconductor switching device becomes conductive during a switch-on operation

Note 1 to entry: Applied voltage is defined in 2.5.32 of IEC 60947-1:2007.

3.1.14.4.1

defined-point switching

defined-point switching of a semiconductor controller

ability of a semiconductor controller to permit the flow of current through the main circuit only as from the instant the a.c. applied voltage or alternatively the a.c. control circuit voltage reaches a specified point on its wave form

Note 1 to entry: Applied voltage is defined in 2.5.32 of IEC 60947-1:2007.

Note 2 to entry: This form of optimized switching may be used for rush-current damping or the "soft switching" of transformers.

3.1.14.4.2**zero-point switching****zero-point switching of a semiconductor controller**

special form of defined point switching applicable only in the case of single pole semiconductor controllers for non-motor loads

Note 1 to entry: The transition from the OFF-state to the ON-state after application of the control signal in such a way, that the semiconductor switching device becomes conductive at the instant a.c. applied voltage passes through zero

Note 2 to entry: Applied voltage is defined in 2.5.32 of IEC 60947-1:2007.

Note 3 to entry: This type of operation is particularly suitable for resistive and incandescent light loads. It should not be used for inductive or capacitive loads since the angular displacement between load current and driving voltage in these loads would cause severe transient current peaks.

3.1.14.4.3**random point switching****random point switching of a semiconductor controller**

absence of the ability of a semiconductor controller to permit the flow of current through the main circuit only as from the instant the a.c. applied voltage or alternatively the a.c. control circuit voltage reaches a specified point on its wave form

Note 1 to entry: Applied voltage is defined in 2.5.32 of IEC 60947-1:2007.

3.1.15**operating cycle****operating cycle of a controller**

succession of operations from one state to the other and back to the first state

Note 1 to entry: A succession of operations not forming an operating cycle is referred to as an operating series.

3.1.16**operating capability**

under prescribed conditions, ability to perform a series of operating cycles without failure

3.1.17**overload current profile**

current-time coordinate specifying the requirement to accommodate overload currents for a period of time (see 5.3.5.1)

3.1.18**rating index**

rating information organized in a prescribed format unifying rated operational current and the corresponding utilization category, overload current profile, and the duty cycle or OFF-time (see 6.1 e))

3.1.19**tripping operation****tripping operation of a controller**

operation to establish and maintain an OFF-state (or open position in the case of a form HxB controller) initiated by a control signal

3.1.20**trip-free controller**

controller which establishes and sustains an OFF-state condition which cannot be overridden in the presence of a trip condition

Note 1 to entry: In the case of form HxB, the term "OFF-state condition" is replaced by the term "OPEN position".

3.1.21**overcurrent protective means****OCPM**

means that cause a switching device to revert to the OFF-state or open position with or without time-delay when the current exceeds a predetermined value

3.1.22**ON-time**

period of time during which the controller is on-load

Note 1 to entry: For example as in Figure F.1.

3.1.23**OFF-time**

period of time during which the controller is off-load

Note 1 to entry: For example as in Figure F.1.

3.1.24**bypassed controller**

equipment wherein the main circuit contacts of a mechanical switching device are connected in parallel with the main circuit terminals of a semiconductor switching device, and wherein the operating means of the two switching devices are co-ordinated

3.2 Vacant**3.3 Symbols and abbreviations**

A_f	Final ambient temperature (9.3.3.3.4)
C_f	Final case temperature (9.3.3.3.4)
EMC	Electromagnetic compatibility
EUT	Equipment under test
I_c	Current made and broken (Table 10)
I_e	Rated operational current (5.3.2.3)
I_F	Leakage current after the blocking and commutating capability test (9.3.3.6.4)
I_L	OFF-state leakage current (3.1.13)
I_o	Leakage current before the blocking and commutating capability test (9.3.3.6.4)
I_{th}	Conventional free air thermal current (5.3.2.1)
I_{the}	Conventional enclosed thermal current (5.3.2.2)
I_u	Rated uninterrupted current (5.3.2.4)
SCPD	Short-circuit protective device
U_c	Rated control circuit voltage (5.5)
U_e	Rated operational voltage (5.3.1.1)
U_i	Rated insulation voltage (5.3.1.2)
U_{imp}	Rated impulse withstand voltage (5.3.1.3)
U_r	Power frequency recovery voltage (Table 8)
U_s	Rated control supply voltage (5.5)

4 Classification

All data which could be used as criteria for classification is given in 5.2.

5 Characteristics of a.c. semiconductor controllers and contactors

5.1 Summary of characteristics

The characteristics of controllers and contactors shall be stated in the following terms, where such terms are applicable:

- type of equipment (see 5.2);
- rated and limiting values for main circuits (see 5.3);
- utilization category (see 5.4);
- control circuits (see 5.5);
- auxiliary circuits (see 5.6);
- types and characteristics of relays and releases (under consideration);
- coordination with short-circuit protective devices (see 5.8).

5.2 Type of equipment

The following shall be stated.

a) Form of equipment

Forms of controllers and contactors (see 3.1.1 and 3.1.2).

b) Number of poles

- 1) Number of main poles
- 2) Number of main poles where the operation is controlled by a semiconductor switching element

c) Kind of current

AC only.

d) Interrupting medium (air, vacuum, etc.)

Applicable only to mechanical switching devices of hybrid controllers and contactors.

e) Operating conditions of the equipment

1) Method of operation

For example:

- symmetrically controlled controller (such as semiconductor with fully controlled phases);
- non-symmetrically controlled controller (such as thyristors and diodes).

2) Method of control

For example:

- automatic (by pilot switch or sequence control);
- non-automatic (that is push-buttons);
- semi-automatic (that is partly automatic, partly non-automatic).

3) Method of connecting

For example (see Figure 2):

- load in star, thyristors connected between load and supply;

- load in delta, thyristors connected between load and supply;
- single-phase load, thyristors connected between load and supply.

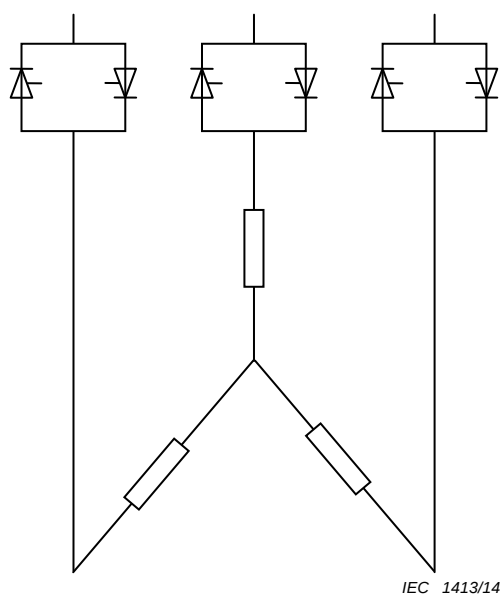


Figure 2a – Load in star Thyristors between load and supply

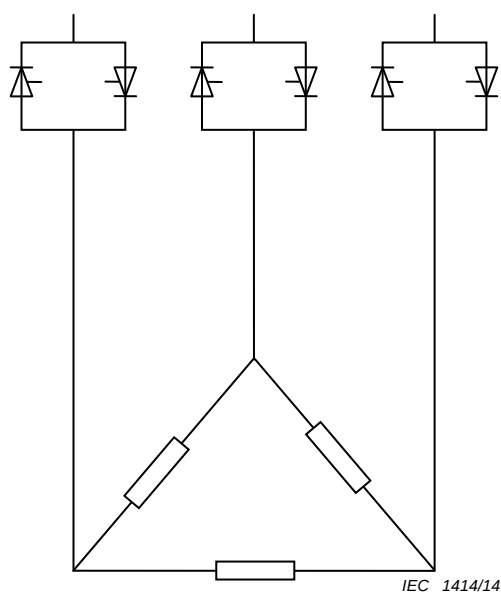


Figure 2b – Load in delta Thyristors between load and supply

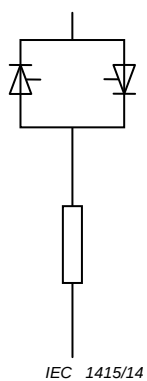


Figure 2c – Single-phase load Thyristors between load and supply

Figure 2 – Methods of connecting

5.3 Rated and limiting values for main circuits

The rated and limiting values established for controllers and contactors shall be stated in accordance with 5.3.1 to 5.3.6, but it may not be necessary to establish all applicable values by tests.

5.3.1 Rated voltages

A controller or a contactor is defined by the following rated voltages.

5.3.1.1 Rated operational voltage (U_e)

Subclause 4.3.1.1 of IEC 60947-1:2007 applies with the following addition.

The rating of a.c. equipment shall include the number of phases except that the rating of equipment obviously intended for single-phase use only is not required to include the number of phases.

5.3.1.2 Rated insulation voltage (U_i)

Subclause 4.3.1.2 of IEC 60947-1:2007 applies.

5.3.1.3 Rated impulse withstand voltage (U_{imp})

Subclause 4.3.1.3 of IEC 60947-1:2007 applies.

5.3.2 Currents

A controller or a contactor is defined by the following currents.

5.3.2.1 Conventional free air thermal current (I_{th})

Subclause 4.3.2.1 of IEC 60947-1:2007 applies.

5.3.2.2 Conventional enclosed thermal current (I_{the})

Subclause 4.3.2.2 of IEC 60947-1:2007 applies.

5.3.2.3 Rated operational current (I_e)

The rated operational current, I_e , of controllers and contactors is the normal operating current when the device is in the FULL-ON state and takes into account the rated operational voltage (see 5.3.1.1), the rated frequency (see 5.3.3), the rated duty (see 5.3.4), the utilization category (see 5.4), the overload characteristics (see 5.3.5) and the type of protective enclosure, if any.

5.3.2.4 Rated uninterrupted current (I_u)

Subclause 4.3.2.4 of IEC 60947-1:2007 applies.

5.3.3 Rated frequency

Subclause 4.3.3 of IEC 60947-1:2007 applies.

5.3.4 Rated duty

The rated duties considered as normal are as follows.

5.3.4.1 Eight-hour duty

A duty in which the controller remains in the FULL-ON state while carrying a steady current long enough for the equipment to reach thermal equilibrium but not for more than 8 h, without interruption.

5.3.4.2 Uninterrupted duty

A duty in which the controller remains in the FULL-ON state while carrying a steady current without interruption for periods of more than 8 h (weeks, months, or even years).

5.3.4.3 Intermittent periodic duty or intermittent duty

Subclause 4.3.4.3 of IEC 60947-1:2007 applies except that the first paragraph is changed to read:

"A duty with on-load periods in which the controller remains in the FULL-ON state (or load control state), having a definite relation to off-load periods, both periods being too short to allow the equipment to reach thermal equilibrium."

5.3.4.4 Temporary duty

Duty in which the semiconductor controller remains in the FULL-ON state (or load control state) for periods of time insufficient to allow the equipment to reach thermal equilibrium, the current-carrying periods being separated by no-load periods of sufficient duration to restore equality of temperature with the cooling medium. Standard values of temporary duty are:

30 s, 1 min, 3 min, 10 min, 30 min, 60 min and 90 min.

5.3.4.5 Periodic duty

Subclause 4.3.4.5 of IEC 60947-1:2007 applies.

5.3.4.6 Duty cycle values and symbols

For the purpose of this standard, the duty cycle is expressed by two symbols, F and S . This describes the duty and also sets the time that must be allowed for cooling.

F is the ratio of the on-load period to the total period, expressed as a percentage.

The preferred values of F are:

$F = 1 \%, 5 \%, 15 \%, 25 \%, 40 \%, 50 \%, 60 \%, 70 \%, 80 \%, 90 \%, 99 \%$.

S is the number of operating cycles per hour. The preferred values of S are:

$S = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 20, 30, 40, 50, 60$ operating cycles per hour.

NOTE Other values of F and/or S can be declared by the manufacturer.

5.3.5 Normal load and overload characteristics

Subclause 4.3.5 of IEC 60947-1:2007 applies with the following additions.

5.3.5.1 Overload current profile

The overload current profile gives the current/time coordinates for the controlled overload current. It is expressed by two symbols, X and T_X .

X denotes the overload current as a multiple of I_e selected from the array of values in Table 6 and represents the maximum value of operating current under operational overload conditions.

Deliberate overcurrents not exceeding ten cycles of the power-line frequency which may exceed the stated value of $X \times I_e$ are disregarded for the overload current profile.

T_x denotes the sum of duration times for the operational overload currents during the switching function (for example pre-heater elements of metal vapour lamps), load control and steady-state operating. See Table 6.

5.3.5.2 Operating capability

Operating capability represents the combined capabilities of

- current commutation and current carrying in the ON-state, and
- establishing and sustaining the OFF-state (blocking),

at full voltage under normal load and overload conditions in accordance with utilization category, overload current profile and specified duty cycles.

Operating capability is characterized by:

- rated operational voltage (see 5.3.1.1);
- rated operational current (see 5.3.2.3);
- rated duty (see 5.3.4);
- overload current profile (see 5.3.5.1);
- utilization category (see 5.4).

Requirements are given in 8.2.4.1.

5.3.5.3 Switch-on, ramp-up, ramp-down and load control characteristics

Typical service conditions for controllers and contactors are described in Annex B.

5.3.6 Rated conditional short-circuit current

Subclause 4.3.6.4 of IEC 60947-1:2007 applies.

5.4 Utilization category

Subclause 4.4 of IEC 60947-1:2007 applies with the following addition.

For controllers and contactors the utilization categories as given in Table 2 are considered standard. Any other type of utilization shall be based on agreement between manufacturer and user, but information given in the manufacturer's catalogue or tender may constitute such an agreement.

Each utilization category (see Table 2) is characterized by the values of the currents, voltages, power-factors and other data of Tables 3, 4, 5 and 6 and by the test conditions specified in this standard.

The first digit of the utilization category identification designates a semiconductor switching device (e.g., within this standard, a semiconductor controller or contactor).

The second digit designates a typical application. In the case of AC-55 and AC-56 respectively, the a- or b-suffix serves to define the application more closely.

NOTE As opposed to the convention used in IEC 60947-4-2 for a.c. semiconductor motor controllers and starters, these suffixes do not refer to the use of a bypass switching device.

5.4.1 Assignment of ratings based on the results of tests

A designated semiconductor controller or contactor with a rating for one utilization category which has been verified by testing can be assigned other ratings without testing, provided that:

- the rated operational current and voltage that are verified by testing shall not be less than the ratings that are to be assigned without testing;
- the utilization category and duty cycle requirements for the tested rating shall be equal to or more severe than the rating that is to be assigned without testing; the relative levels of severity are given in Table 3;
- the overload current profile for the tested rating shall be equal to or more severe than the rating that is to be assigned without testing, in accordance with the relative levels of severity in Table 3. Only values of X lower than the tested value of X may be assigned without testing.

Table 2 – Utilization categories

Utilization category	Typical application
AC-51	Non-inductive or slightly inductive loads, resistance furnaces
AC-55a	Switching of electric discharge lamp controls
AC-55b	Switching of incandescent lamps
AC-56a	Switching of transformers
AC-56b	Switching of capacitor banks
NOTE 1 A means of bypassing the semiconductor controller after attainment of the FULL-ON condition can be provided. This can be integral with the semiconductor contactor or installed separately.	
NOTE 2 If the utilization category applies only in conjunction with the use of a bypass as described in Note 1 above, then this is stated by the manufacturer. See 6.1.	

Table 3 – Relative levels of severity

Severity level	Utilization category	Overload current profile	ON-time/OFF-time requirements
Most severe	AC-51 AC-55a AC-55b AC-56a AC-56b all without bypass	Highest value of $(X \times I_e)^2 \times T_x$ (Note 1)	Highest value of $F \times S$ (Note 2)
	AC-55a only in conjunction with bypass	Highest value of $(X \times I_e)^2 \times T_x$ (Note 1)	Lowest value of OFF-time (Note 3)
NOTE 1 When the highest value of $(X \times I_e)^2 \times T_x$ occurs at more than one value of $X \times I_e$, then the highest value of $X \times I_e$ applies.			
NOTE 2 When the highest value of $F \times S$ occurs at more than one value of S , then the highest value of S applies.			
NOTE 3 When the highest value of $(X \times I_e)^2 \times T_x$ occurs at more than one value of OFF-time, then the lowest value of OFF-time applies.			

5.5 Control circuits

Subclause 4.5.1 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies with the following additions.

The characteristics of electronic control circuits are:

- kind of current;
- power consumption;
- rated frequency (or d.c.);
- rated control circuit voltage, U_c (nature: a.c./d.c.);
- rated control supply voltage, U_s (nature: a.c./d.c.);
- nature of control circuit devices (contacts, sensors).

NOTE A distinction is made between control circuit voltage, U_c , which is the controlling input signal, and control supply voltage, U_s , which is the voltage applied to energize the power supply terminals of the control circuit equipment and can be different from U_c due to built-in transformers, rectifiers, resistors, etc.

5.6 Auxiliary circuits

Subclause 4.6 of IEC 60947-1:2007 applies with the following additions.

Electronic auxiliary circuits perform useful functions (for example monitoring, data acquisition, etc.) that are not necessarily relevant to the direct task of governing the intended performance characteristic.

Under normal conditions, auxiliary circuits are characterized in the same way as control circuits and are subject to the same kinds of requirements. If the auxiliary functions include unusual performance features, the manufacturer should be consulted to define the critical characteristics.

Digital inputs and/or digital outputs contained in controllers and contactors, and intended to be compatible with PLCs, shall fulfil the requirements of Annex S of IEC 60947-1:2007.

5.7 Vacant

5.8 Coordination with short-circuit protective devices (SCPD)

Controllers and contactors are characterized by the type, ratings and characteristics of the SCPD to be used to provide an adequate protection of the controller or contactor against short-circuit currents.

Requirements are given in 8.2.5 of this standard and in 4.8 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010).

6 Product information

6.1 Nature of information

The following information shall be given by the manufacturer.

Identification

- a) the manufacturer's name or trade mark;
- b) type designation or serial number;
- c) number of this standard.

Characteristics, basic rated values and utilization

- d) rated operational voltages (see 5.3.1.1);
- e) rated operational currents, corresponding utilization category (see 5.4), overload current profile (see 5.3.5.1), and duty cycle (see 5.3.4.6) or OFF-time, comprising the rating index.

The prescribed format for AC-51 is shown by this example:

100 A: AC-51: $1,5 \times I_e - 46 \text{ s} : 50 - 30$

This indicates 100 A current rating for general applications with non-inductive or slightly inductive loads. The device can accommodate 150 A for 46 s, 50 % on-load factor, 30 standard operating cycles per hour.

If the rated operational current only applies if the controller is used in conjunction with a bypass, then this shall be indicated by the following prescribed form of the rating index, shown by example for AC-55a:

100 A: AC-55a: $2 \times I_e - 30 \text{ s} : 180 \text{ s}$

This indicates 100 A current rating for the switching on of electric discharge lamp controls. The device can accommodate 200 A for 30 s, the OFF-time shall not be less than 180 s before any subsequent switch-on may be initiated.

- f) either the value of the rated frequency 50 Hz/60 Hz, or other rated frequencies for example 16 2/3 Hz, 400 Hz;
- g) indication of the rated duties as applicable (see 5.3.4.3);
- h) form designation (for example form 4 or form H4A, see Table 1).

Safety and installation

- j) rated insulation voltage (see 5.3.1.2);
- k) rated impulse withstand voltage (see 5.3.1.3);
- l) IP code, in case of an enclosed equipment (see 8.1.11);
- m) pollution degree (see 7.1.3.2);
- n) rated conditional short-circuit current and type of coordination of the controller and the type, current rating and characteristics of the associated SCPD (see 5.8);
- p) vacant.

Control circuits

- q) rated control circuit voltage U_c , nature of current and rated frequency, and, if necessary, rated control supply voltage U_s , nature of current and rated frequency and any other information (for example impedance matching requirements) necessary to ensure satisfactory operation of the control circuits (see Annex U of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) for examples of control circuit configurations);

Auxiliary circuits

- r) nature and ratings of auxiliary circuits (see 5.6);

Overcurrent protective means

- s) vacant.

EMC emission and immunity levels

- t) the equipment class and the specific requirements necessary to maintain compliance (see 8.3.2); if an EMC filter is required to fulfil the emission levels given in Table 15, its reference and characteristics from 9.4.1.1 have to be stated;
- u) the immunity levels attained and the specific requirements necessary to maintain compliance (see 8.3.3).

6.2 Marking

Subclause 5.2 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies to controllers and contactors with the following addition.

Data under d) to u) in 6.1 shall be included on the nameplate, or on the equipment, or in the manufacturer's published literature.

Data under c) and l) in 6.1 shall preferably be marked on the equipment.

6.3 Instructions for installation, operation and maintenance

Subclause 5.3 of IEC 60947-1:2007 applies, with the following addition.

For products complying with this standard, the following are specific items to be considered:

- in the event of a short-circuit;
- in the event of temperature rise above 50 K of the metallic radiator surface of the device.

7 Normal service, mounting and transport conditions

Clause 6 of IEC 60947-1:2007 applies with the following exception.

7.1 Normal service conditions

Subclause 6.1 of IEC 60947-1:2007 applies with the following exception.

7.1.1 Ambient air temperature

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

The lower limit of the ambient air temperature is 0 °C.

Ambient air temperature is that existing in the vicinity of the equipment if supplied without enclosure, or in the vicinity of the enclosure if supplied with an enclosure.

NOTE If the equipment is to be used at ambient air temperatures above +40 °C (e.g. within switchgear and controlgear assemblies and in forges, boiler rooms, tropical countries) or below 0 °C (e.g. –25 °C, as required by IEC 61439 series for outdoor installed low-voltage switchgear and controlgear assemblies) the manufacturer should be consulted. Information given in the manufacturer's catalogue may satisfy this requirement.

7.1.2 Altitude

Subclause 6.1.2 of IEC 60947-1:2007 applies with the following modification.

The altitude of the site of installation does not exceed 1 000 m.

For equipment to be used at higher altitudes, it is necessary to take into account the reduction of the dielectric strength and the cooling effect of the air. Electrical equipment intended to operate in these conditions should be designed or used in accordance with an agreement between manufacturer and user.

7.1.3 Atmospheric conditions

7.1.3.1 Humidity

Subclause 6.1.3.1 of IEC 60947-1:2007 applies.

7.1.3.2 Degrees of pollution

Unless otherwise stated by the manufacturer, controllers and contactors are intended for use in pollution degree 3 environmental conditions, as defined in 6.1.3.2 of IEC 60947-1:2007. However, other pollution degrees may be considered applicable, depending upon the micro-environment.

7.1.4 Shock and vibrations

Subclause 6.1.4 of IEC 60947-1:2007 applies.

7.2 Conditions during transport and storage

Subclause 6.2 of IEC 60947-1:2007 applies.

7.3 Mounting

Subclause 6.3 of IEC 60947-1:2007 applies for EMC considerations, see 8.3 and 9.4 of this standard.

7.4 Electrical system disturbances and influences

For EMC considerations, see 8.3 and 9.4.

8 Constructional and performance requirements

8.1 Constructional requirements

8.1.1 General

Subclause 7.1.1 of IEC 60947-1:2007 applies.

8.1.2 Materials

8.1.2.1 General materials requirements

Subclause 7.1.2.1 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies.

8.1.2.2 Glow wire testing

Subclause 7.1.2.2 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies with the following addition.

When tests on the equipment or on sections taken from the equipment are used, parts of insulating materials necessary to retain current-carrying parts in position shall conform to the glow-wire tests in 8.2.1.1.1 of IEC 60947-1:2007 at a test temperature of 850 °C.

8.1.2.3 Test based on flammability category

Subclause 7.1.2.3 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies.

8.1.3 Current-carrying parts and their connections

Subclause 7.1.3 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies.

8.1.4 Clearances and creepage distances

Subclause 7.1.4 of IEC 60947-1:2007 applies with the following note.

NOTE The nature of a semiconductor makes it unsuitable for use for isolation purposes.

8.1.5 Actuator

Vacant

8.1.6 Indication of the contact position

Vacant

8.1.7 Additional requirements for equipment suitable for isolation

Vacant

8.1.8 Terminals

Subclause 7.1.8 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies with, however, the following additional requirements.

8.1.8.4 Terminal identification and marking

Subclause 7.1.8.4 of IEC 60947-1:2007 applies with additional requirements as given in Annex A.

8.1.9 Additional requirements for equipment provided with a neutral pole

Vacant

8.1.10 Provisions for protective earthing

Subclause 7.1.10 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies.

8.1.11 Enclosures for equipment

Subclause 7.1.11 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies.

8.1.12 Degrees of protection of enclosed equipment

Subclause 7.1.12 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies.

8.1.13 Conduit pull-out, torque and bending with metallic conduits

Subclause 7.1.13 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies.

8.2 Performance requirements

8.2.1 Operating conditions

8.2.1.1 General

Auxiliary devices used in controllers and contactors shall be operated in accordance with the manufacturer's instructions and their relevant product standard.

8.2.1.1.1 Controller and contactors shall be so constructed that they

- a) are trip-free (see 3.1.20);
- b) can be caused to return to the OPEN or OFF-state by the operating means at any time during switching from the OFF to the ON-state or while in the FULL-ON state.

Compliance is verified in accordance with 9.3.3.6.4.

8.2.1.1.3 Controllers and contactors shall not malfunction due to mechanical shock or electromagnetic interference caused by operation of their internal devices.

Compliance is verified in accordance with 9.3.3.6.4.

8.2.1.1.4 The moving contacts of the series mechanical switching device in hybrid load controllers and contactors shall be so mechanically coupled that all poles make and break substantially together whether operated manually or automatically.

8.2.1.2 Limits of operation of controllers

Controllers and contactors shall function satisfactorily at any voltage between 85 % and 110 % of their rated operational voltage U_e , and rated control supply voltage U_s , when tested in accordance with 9.3.3.6.4. Where a range is declared, 85 % shall apply to the lower value and 110 % to the higher.

8.2.1.3 Relays and releases associated with controllers

Relays and releases to be associated with a controller to provide protection for the load shall operate within a time T_x at a current $X \times I_e$, where X and T_x are the values given by the declared rating index. In the case of more than one declared rating index, X and T_x are the values corresponding to the rating index giving the highest product $(X \times I_e)^2 \times T_x$.

8.2.1.4 Vacant

8.2.1.5 Vacant

8.2.1.5.1 Vacant

8.2.1.5.2 Vacant

8.2.1.6 Type-tested components in bypassed controllers

8.2.1.6.1 Switching devices which meet the requirements of their own relevant product standard shall be considered as partially type-tested devices subject to the following additional requirements:

- a) the temperature rises of mechanical switching devices shall comply with 8.2.2;
- b) the making and breaking capacity of mechanical switching devices shall comply with 8.2.4.2;
- c) semiconductor switching devices shall comply with 8.2.4.1 for the utilization category according to the intended ratings of the bypassed controllers.

8.2.1.6.2 For the purpose of setting requirements for bypassed controllers, switching devices which meet all of the requirements of 8.2.1.6.1, before they are installed, shall be identified as type-tested components suitable for unrestricted use in a bypassed controller (see Annex J).

8.2.1.7 Dependent components in bypassed controllers

For the purpose of setting requirements for bypassed controllers, switching devices which do not meet all of the requirements of 8.2.1.6.1, before they are installed, shall be identified as dependent components suitable only for restricted use in a bypassed controller (see Annex J).

8.2.1.8 Unrestricted use of switching devices in bypassed controllers

When both the mechanical switching device and the semiconductor switching device are identified as type tested components, these devices shall be arranged and connected to comply with the assigned rating, duty and the end use intended by the manufacturer. There shall be no further restrictions.

8.2.1.9 Restricted use of switching devices in bypassed controllers

When either one or both switching devices are identified as dependent components, the switching devices shall comply with the following:

- a) the switching devices shall be combined, rated and tested as a unit;
- b) the switching devices shall be interlocked, by any of the following means, either individually or in combination: electrical, electronic or mechanical means, such that the mechanical switching contacts shall not be required to make or break overload currents without direct intervention by the semiconductor switching device;
- c) the semiconductor switching device shall be enabled to take over the control of the current flowing in the main circuit whenever it is necessary to make or break overload currents.

8.2.2 Temperature rise

The requirements of 7.2.2 of IEC 60947-1:2007 apply to controllers and contactors in a clean, new condition.

NOTE Contact resistance due to oxidation can impact the temperature rise test at test voltages below 100 V. In the case of conducting the test at a voltage below 100 V, mechanical switching devices can have the contacts cleaned either by any non-abrasive method or by carrying out operating cycles with or without load several times prior to initiating the test at any voltage.

Temperature rise deviations on the metallic radiator surface of semiconductor devices are permitted: 50 K in the case where they need not be touched during normal operation.

If the limit of 50 K is exceeded, the manufacturer shall provide a suitable warning (e.g. symbol IEC 60417-5041 (2002-10))¹⁾ in accordance with 6.3. Provision of suitable guarding and location to prevent danger is the responsibility of the installer.

8.2.2.1 Vacant

8.2.2.2 Vacant

8.2.2.3 Vacant

8.2.2.4 Main circuit

8.2.2.4.1 General

The main circuit of a controller or contactor, which carries current in the FULL-ON state, shall be capable of carrying, without the temperature rises exceeding the limits specified in 7.2.2.1 of IEC 60947-1:2007 when tested in accordance with 9.3.3.3.4,

- for a controller or contactor intended for 8 h duty: its conventional thermal current (see 5.3.2.1 and/or 5.3.2.2);
- for a controller or contactor intended for uninterrupted duty, intermittent or temporary duty: the relevant rated operational current (see 5.3.2.3).

8.2.2.4.2 Series mechanical switching devices for hybrid controllers

For hybrid controllers, the temperature rise of the components in series with the main circuit shall be verified by the procedures given in 9.3.3.3.4 and 9.3.3.6.2 (see Table 13).

¹⁾ IEC 60417, *Graphical symbols for use on equipment*

8.2.2.4.3 Parallel mechanical switching devices for bypassed controllers

Devices identified as type tested components (see 8.2.1.6) shall be capable of carrying the current I_e without the temperature rises exceeding the limits specified in 7.2.2.1 of IEC 60947-1:2007.

For devices identified as dependent components (see 8.2.1.7), the temperature rise shall be verified by the procedures given in 9.3.3.3.4 and 9.3.3.6.2 (including Table 7 and Table 13). The device shall be tested as an integral part of a unit where the prescribed on-load periods for the two switching devices (Table 7) shall be determined by a sequence of operations which is the same as intended in normal service.

8.2.2.4.4 Semiconductor devices connected in the main circuit

The temperature rise of the semiconductor devices connected in the main circuit shall be verified by the procedures given in 9.3.3.3.4 and 9.3.3.6.2 (thermal stability test).

8.2.2.5 Control circuits

Subclause 7.2.2.5 of IEC 60947-1:2007 applies.

8.2.2.6 Windings of coils and electromagnets

8.2.2.6.1 Uninterrupted and 8 h duty windings

With the maximum value of current flowing through the bypass circuit, the coils windings shall withstand under continuous load and at rated frequency, if applicable, their maximum rated control supply voltage without the temperature rise exceeding the limits specified in Table 4 and 7.2.2.2 of IEC 60947-1:2007.

NOTE The temperature rise limits given in Table 4 and in 7.2.2.2 of IEC 60947-1:2007 are applicable only if the ambient air temperature remains within the limits $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

8.2.2.6.2 Intermittent duty windings

With no current flowing through the bypass circuit, the windings of the coils shall withstand, at the rated frequency, if applicable, their maximum rated control supply voltage applied as detailed in Table 5 according to their intermittent duty class, without the temperature rise exceeding the limits specified in Table 4 and 7.2.2.2 of IEC 60947-1:2007.

NOTE The temperature rise limits given in Table 4 and in 7.2.2.2 of IEC 60947-1:2007 are applicable only if the ambient air temperature remains within the limits $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

8.2.2.6.3 Specially rated (temporary or periodic duty) windings

Specially rated windings shall be tested under operating conditions corresponding to the most severe duty for which they are intended and their ratings shall be stated by the manufacturer.

NOTE Specially rated windings can include coils of contactors or controllers which are energised during the starting period only, trip coils of latched contactors and magnetic valve coils for inter-locking pneumatic contactors.

Table 4 – Temperature rise limits for insulated coils in air and in oil

Class of insulating material (according to IEC 60085)	Temperature rise limit (measured by resistance variation)	
	Coils in air	Coils in oil
A	85	60
E	100	60
B	110	60
F	135	–
H	160	–

Table 5 – Intermittent duty test cycle data

Intermittent duty class	One close-open operating cycle every	Interval of time during which the supply to the control coil is maintained
1	3 600 s	ON-time should correspond to the on-load factor specified by the manufacturer
3	1 200 s	
12	300 s	
30	120 s	
120	30 s	
300	12 s	
1 200	3 s	

8.2.2.7 Auxiliary circuits

Subclause 7.2.2.7 of IEC 60947-1:2007 applies.

8.2.2.8 Other parts

Subclause 7.2.2.8 of IEC 60947-1:2007 applies, replacing words “plastics and insulating materials” with “insulating parts”.

8.2.3 Dielectric properties

The following requirements are based on the principles of the IEC 60664 series and provide the means of achieving coordination of insulation of equipment with the conditions within the installation.

The equipment shall be capable of withstanding

- the rated impulse withstand voltage (see 5.3.1.3) in accordance with the overvoltage category given in Annex H of IEC 60947-1:2007;
- the impulse withstand voltage across the contact gaps of devices suitable for isolation as given in Table 14 of IEC 60947-1:2007;
- the power-frequency withstand voltage.

NOTE 1 A direct voltage can be used instead, provided its value is not less than the projected alternating test voltage crest value.

NOTE 2 The correlation between the nominal voltage of the supply system and the rated impulse withstand voltage of the equipment is given in Annex H of IEC 60947-1:2007.

The rated impulse withstand voltage for a given rated operational voltage (see Notes 1 and 2 of 4.3.1.1 of IEC 60947-1:2007) shall be not less than that corresponding in Annex H of IEC 60947-1:2007 to the nominal voltage of the supply system of the circuit at the point where the equipment is to be used, and the appropriate overvoltage category.

The requirements of this subclause shall be verified by the tests of 9.3.3.4.

8.2.3.1 Impulse withstand voltage

1) Main circuit

Subclause 7.2.3.1 1) of IEC 60947-1:2007 applies.

2) Auxiliary and control circuits

Subclause 7.2.3.1 2) of IEC 60947-1:2007 applies with 2) a) modified as follows:

- a) For auxiliary and control circuits which operate directly from the main circuit at the rated operational voltage, clearances from live parts to parts intended to be earthed and between poles shall withstand the test voltage given in Table 12 of IEC 60947-1:2007 appropriate to the rated impulse withstand voltage.

NOTE Solid insulation of equipment associated with clearances are subjected to the impulse voltage.

8.2.3.2 Power-frequency withstand voltage of the main, auxiliary and control circuits

Subclause 7.2.3.2 of IEC 60947-1:2007 applies.

8.2.3.3 Clearances

Subclause 7.2.3.3 of IEC 60947-1:2007 applies.

8.2.3.4 Creepage distances

Subclause 7.2.3.4 of IEC 60947-1:2007 applies.

8.2.3.5 Solid insulation

Subclause 7.2.3.5 of IEC 60947-1:2007 applies.

8.2.3.6 Spacing between separate circuits

Subclause 7.2.3.6 of IEC 60947-1:2007 applies.

8.2.4 Normal load and overload performance requirements

Requirements concerning normal load and overload characteristics according to 5.3.5 are given in 8.2.4.1 and 8.2.4.2.

8.2.4.1 Operating capability requirements

Controllers and contactors shall be required to establish an ON-state, to commute, to carry designated levels of load and, if applicable, overload currents, and to establish and sustain an OFF-state condition without failure or any type of damage, when tested in accordance with 9.3.3.6.

For controllers and contactors designated for the utilization categories AC-51, -55a, -55b, -56a, -56b and intended for use without a bypass, values of T_x corresponding to X values shall be not less than those given in Table 6.

Controllers and contactors designated for the utilization category AC-55a and intended for use with a bypass shall be capable of accommodating those applications where long switch-on times at currents greater than the rated continuous current are required (for example switching of lamps with preheating times). It shall be understood that the maximum thermal capacity of the controller may be fully depleted during the on-load period. Therefore, a suitable off-load period (for example bypass means) shall be provided for the controller immediately after the on-load period has expired. The values of T_x and the corresponding X values as well as the minimum off-load period shall be subject to agreement between manufacturer and user and shall be declared in the rating index using the prescribed format (see 6.1).

Ratings shall be verified under the conditions stated in Table 7 and Table 8 and in the relevant parts of 8.3.3.5.2 and 8.3.3.5.3 of IEC 60947-1:2007.

Where $X \times I_e$ is greater than 1 000 A, verification of the overload capability shall be subject to agreement between manufacturer and user (for example by computer modelling).

In Tables 7 and 8, the duty cycle for utilization categories AC-51, -55a, -55b, -56a, -56b all without bypass ($F - S = 50 - 1$), and the OFF-time for utilization categories AC-55a with bypass (OFF-time = 1 440 s), are the least severe requirements for an 8 h duty. The manufacturer may claim compliance with a more severe duty in which case he shall conduct a test for the most severe duty in accordance with Table 3.

For utilization categories AC-51, -55a, -55b, -56a, -56b without bypass, more severe test values for ON-time and OFF-time may be calculated by:

$$\text{ON-time (s)} = 36 F/S$$

$$\text{OFF-time (s)} = 36(100 - F)/S$$

For utilization categories AC-55a with bypass, the manufacturer may claim compliance with the capability to perform starting duty operations with OFF-times that are less than the 1 440 s that are allowed as standard. However, this shall be verified by testing with the OFF-time declared by the manufacturer.

For controllers and contactors intended for intermittent, temporary or periodic duty, the manufacturer shall select from the arrays for F and S given in 5.3.4.6.

**Table 6 – Minimum overload current withstand time (T_x)
in relation to overload current ratio (X)**

	$T_x = 20 \text{ ms}$	$T_x = 200 \text{ ms}$	$T_x = 1 \text{ s}$	$T_x = 10 \text{ s}$	$T_x = 60 \text{ s}$	$T_x = 300 \text{ s}$	Continuous
AC-51	$X = 1,4$	$X = 1,4$	$X = 1,4$	$X = 1,2$	$X = 1,1$	$X = 1$	$X = 1$
AC-55a	$X = 10$	$X = 6$	$X = 4$	$X = 3$	$X = 2$	$X = 1,8$	$X = 1$
AC-55b	$X = 10$	$X = 6$	$X = 1,2$	$X = 1,1$	$X = 1$	$X = 1$	$X = 1$
AC-56a	$X = 30$	$X = 6$	$X = 1,2$	$X = 1,1$	$X = 1$	$X = 1$	$X = 1$
AC-56b	$X = 30$	$X = 1,4$	$X = 1,1$	$X = 1$	$X = 1$	$X = 1$	$X = 1$

Table 7 – Minimum requirements for thermal stability test conditions

Utilization category	Form of controller	Test current, I_T , Operating cycle ON-time s		Operating cycle ^a
		Test level		OFF-time s
Without bypass		I_T	ON-time s	s
AC-51	4, H4 5, H5	$X \times I_e$	T_x	T_x
AC-55a				
AC-55b				
AC-56a				
AC-56b				
With bypass		I_T	ON-time s	
AC-55a	4, H4 5, H5	$3 \times I_e$	240	$\leq 1\ 440$
Parameters of the test circuit: I_e = rated operational current I_T = test current U_T = test voltage (may be any value) Cos φ = test circuit power factor (may be any value) number of operating cycles ^a ^a The number of operating cycles will depend upon the length of time required for the controller to reach thermal equilibrium.				

Table 8 – Minimum requirements for overload capability test conditions

Utilization category	Parameters of the test circuit			Operating cycle ^d ON-time s	Operating cycle ^d OFF-time s	Number of operating cycles
	I_c/I_e	U_r/U_e ^a	$\cos \varphi$ ^b			
AC-51	X	1,1	0,8	T_X^c	≥ 10	5
AC-55a	3,0	1,1	0,45	0,05	≥ 10	5
AC-55b	1,5	1,1	^e	0,05	60	50
AC-56a	30	1,1	≤ 1	0,05	≥ 10	5
AC-56b	^g	1,1	^f	0,05	≥ 10	1 000
I_c = test current I_e = rated operational current U_e = rated operational voltage U_r = power-frequency recovery voltage						
Temperature conditions The initial case temperature C_i , for each test shall be not less than 40 °C plus the maximum case temperature rise during the temperature rise test (9.3.3.3), or alternatively the case temperature corresponding to the respective minimum requirement for the thermal stability test condition (Table 7). During the test, the ambient air temperature shall be between +10 °C and +40 °C.						
^a U_r/U_e may be any value during the test sequence except for the last three full periods of power frequency of the ON-time plus the first second of the OFF-time. ^b $\cos \varphi$ may be any value during the reduced voltage periods. ^c See Table 6. ^d Changeover time shall not be greater than three full periods of the power frequency. ^e Tests to be carried out with an incandescent light load. ^f Tests to be carried out with a capacitive load. ^g Capacitive ratings may be derived by capacitor switching tests or assigned on the basis of established practice and experience. As a guide, reference may be made to the formula: $I_{pmax} \leq I_{TSM} \sqrt{2}$ where I_{pmax} is the peak inrush current of capacitor and I_{TSM} is the non-repetitive surge on-state current.						

Table 9 – Minimum requirements and conditions for performance testing, including blocking and commutating capability

Utilization category	Test load parameters of the test circuit			Test cycles	
	U/U_e	Power	$\cos \varphi$	ON-time s	OFF-time s
AC-51	1,0	a	0,8 ... 1,0	0,5	0,5
AC-55a	1,0	b	0,45	0,5	0,5
AC-55b	1,0	c	c	f	0,5
AC-56a	1,0	d	$\leq 0,45$	f	g
AC-56b	1,0	e	e	f	h

The following tests are to be carried out:

- test 1: 100 operating cycles with 85 % U_e and 85 % U_s ;
- test 2: 1 000 operating cycles with 110 % U_e and 110 % U_s .

During the tests:

- the load and the ambient air may be at any temperature between 10 °C and 40 °C;
- true r.m.s. voltage measuring means shall be connected between the line side terminal and the load side terminal on each pole of the EUT;
- settings are limited to only those external adjusting means provided by the manufacturer in the normal product offerings. Controllers fitted with ramp-up functions shall be set at the maximum ramping time or 10 s, whichever is less.

Results to be obtained:

- 1) 1a) or 1b) shall be fulfilled
 - 1a) $I_O < 1$ mA and $I_F < 1$ mA
 - 1b) if $I_O > 1$ mA or $I_F > 1$ mA, then:
 - $\Delta I < 1$ for each pole where $\Delta I = (I_F - I_O) / I_O$
 - and
 - I_O and I_F shall be within the limits given in the datasheet for the semiconductor.
- 2) No visual evidence of damage (i.e. smoke, discoloration).
- 3) No loss of functionality as specified by the manufacturer.

a The test load shall be any convenient slightly inductive load.

b The test load shall be any convenient inductive load.

c The test load shall be any convenient incandescent lamp.

d The test load shall be any convenient transformer.

e The test load shall be any convenient capacitor or capacitor bank.

f The on-time shall be greater than that time required to reach the steady-state nominal current.

g The off-time is that time required for the current to become less than 10 % of the nominal ON-state current value.

h The off-time is that time required for the voltage on the capacitor to become less than 10 % of the nominal voltage due to the discharge of the capacitor through any convenient discharge resistor.

8.2.4.2 Making and breaking capacities for switching devices in the main circuit

8.2.4.2.1 General

The controller or contactor, including the mechanical switching devices associated with it, shall be capable of operating without failure in the presence of overload current.

The capability of making and breaking currents without failure, shall be verified under the conditions stated in both Table 10 and Table 11, for the required utilization categories, and the number of operations indicated.

Table 10 – Making and breaking capacity test – Making and breaking conditions according to utilization categories for the mechanical switching device of hybrid semiconductor controller and contactor H4, H5

Utilization category	Make and break conditions					
	I_c/I_e	U_r/U_e	Cos φ	ON-time s	OFF-time s	Number of operating cycles
AC-51	1,5	1,05	0,80	0,05	a	50
AC-55a	3,0		0,45			
AC-55b	1,5 ^b		b			
AC-56a	30		c			
AC-56b	d		d			
I_c = current made and broken, expressed in a.c. r.m.s. symmetrical values I_e = rated operational current U_e = rated operational voltage U_r = power-frequency recovery voltage			Current I_c A		OFF-time s	
			$I_c \leq 100$		10	
			$100 < I_c \leq 200$		20	
			$200 < I_c \leq 300$		30	
			$300 < I_c \leq 400$		40	
			$400 < I_c \leq 600$		60	
			$600 < I_c \leq 800$		80	
			$800 < I_c \leq 1\ 000$		100	
			$1\ 000 < I_c \leq 1\ 300$		140	
			$1\ 300 < I_c \leq 1\ 600$		180	
			$1\ 600 < I_c$		240	
			a OFF-time shall not be greater than the values given in the chart.			
b Tests to be carried out with incandescent light load.						
c $I_c\text{ peak} = 30 \times I_e \sqrt{2}$ Cos φ preferred: ≤ 0,45						
d Capacitive ratings may be derived by capacitor switching tests or assigned on the basis of established practice and experience.						

Table 11 – Conventional operational performance – Making and breaking conditions according to utilization categories for the mechanical switching device of hybrid controllers and contactors H4B, H5B

Utilization category	Make and break conditions					
	I_c/I_e	U_r/U_e	Cos φ	ON-time s	OFF-time s	Number of operating cycles
AC-51	1,0	1,05	0,80	0,05	a	6 000 ^d
AC-55a	2,0		0,45		a	
AC-55b	1,0 ^b		b		60	
AC-56a	c		c			
AC-56b	c		c			
I_c = current made and broken, expressed in a.c. r.m.s. symmetrical values I_e = rated operational current U_e = rated operational voltage U_r = power-frequency recovery voltage						
^a OFF-times shall not be greater than the values given in Table 10. ^b Tests to be carried out with incandescent light load. ^c Under consideration. ^d For manually operated switching devices, the number of operating cycles shall be 1 000 on load, followed by 5 000 off load.						

8.2.4.2.2 Series mechanical switching devices of hybrid controllers

The series mechanical switching devices in the main circuit of controllers and contactors shall meet the requirements of their own product standards, and the additional requirements of 8.2.4.2 when tested as a stand-alone device.

For bypassed hybrid controllers and contactors (see Figure 1), the series mechanical switching device may be designated with a duty rating that is aligned with the intermittent duty rating of the semiconductor controller.

The making and breaking capacity shall be verified by the procedures of 9.3.3.5.1 and 9.3.3.5.2.

8.2.4.2.3 Type tested, parallel mechanical switching devices of bypassed controllers

The making and breaking capacity shall be verified when tested as a stand-alone device in accordance with the procedures of 9.3.3.5.1 and 9.3.3.5.3.

8.2.4.2.4 Dependent, parallel mechanical switching devices of bypassed controllers

The making and breaking capacity shall be verified when tested as a combined unit in accordance with the procedures of 9.3.3.5.1 and 9.3.3.5.4.

8.2.4.2.5 Semiconductor switching devices

The capability to control overload currents shall be verified by the procedures of 9.3.3.6.3 and 9.3.3.6.4.

8.2.4.3 Requirements for an initiating load

The initiating load for short-circuit testing (see Figure I.1) shall be any convenient passive load with the following characteristics:

- a) the rated voltage shall be equal to or greater than U_e for the device to be tested;
- b) the power factor shall be between 0,8 and 1,0;
- c) with voltage U_e applied to the initiating load, the current flow may be any value greater than 1 A.

8.2.5 Coordination with short-circuit protective devices

8.2.5.1 Performance under short-circuit conditions

The rated conditional short-circuit of controllers and contactors backed up by short-circuit device(s) (SCPDs) shall be verified by short-circuit tests as specified in 9.3.4. These tests are mandatory.

The rating of the SCPD shall be adequate for any given rated operational current, rated operational voltage and the corresponding utilization category.

Two types of coordination are permissible, type 1 or type 2. Test conditions for both are given in 9.3.4.3.

Type 1 coordination requires that, under short-circuit conditions, the device shall cause no danger to persons or to the installation and may not be suitable for further service without repair and replacement of parts.

Type 2 coordination requires that, under short-circuit conditions, the device shall cause no danger to persons or to the installation and shall be suitable for further use. For hybrid controllers and contactors, the risk of contact welding is recognized, in which case the manufacturer shall indicate the measures to be taken as regards the maintenance of the equipment.

NOTE Use of an SCPD not in compliance with the manufacturer's recommendations can invalidate the coordination.

8.2.5.2 Vacant

8.3 EMC requirements

8.3.1 General

It is widely accepted that the achievement of electromagnetic compatibility between different items of electrical and electronic apparatus is a desirable objective. Indeed, in many countries mandatory requirements for EMC exist.

The requirements specified in the following subclauses are included to permit the achievement of electromagnetic compatibility for controllers and contactors. All relevant immunity and emission requirements are covered and additional tests are not required or necessary. EMC performance is not guaranteed in the event that the contactor is subject to electronic component failure. These conditions are not considered and do not form part of the test requirements.

All phenomena, whether emission or immunity, are considered individually: the limits given are for conditions which are not considered to have cumulative effects.

For EMC tests, the minimum system to be considered is the controller interconnected with a load, cables and the needed auxiliaries for fully exercise.

These subclauses do not describe or affect the safety requirements for a semiconductor controller or contactor such as protection against electric shocks, insulation coordination and related dielectric tests, unsafe operation, or unsafe consequence of a failure.

8.3.2 Emission

Subclause 7.3.3.2 of IEC 60947-1:2007 applies according to the relevant set of environmental conditions defined in subclause 7.3.1 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010).

The relevant set of environmental condition must be stated in the information to be given with the equipment.

8.3.2.1 Low-frequency emission with reference to main power frequency

8.3.2.1.1 Harmonics

Subclause 7.3.3.2.2 of IEC 60947-1:2007 applies with the following addition:

Because no significant harmonic emission are produced in the FULL-ON state, tests are not required on those controllers or contactors which run only in the FULL-ON state or which are by-passed by a mechanical switching device after completing a start.

8.3.2.1.2 Voltage fluctuation

This phenomenon does not arise from the action of a semiconductor controller, therefore no tests are required.

8.3.2.2 High-frequency emission

8.3.2.2.1 Conducted radiofrequency (RF) emission

The limits given in Table 15 shall be verified in accordance with the procedures of 9.4.1.1.

8.3.2.2.2 Radiated emissions

The limits given in Table 16 shall be verified in accordance with the procedures of 9.4.1.2.

8.3.3 Immunity

8.3.3.1 General

Electrical system influences may be destructive or non-destructive depending on the intensity of the influence. Destructive influences (voltage or current) cause irreversible damage to a controller. Non-destructive influences may cause temporary malfunction or abnormal operation, but the controller returns to normal operation after the influence has been minimized or removed; in some cases this may require manual intervention.

The manufacturer should be consulted in those instances where severe external influences may occur, which are greater than the levels for which the controller has been tested, for example installations in remote locations with long power transmission lines, close proximity to ISM equipment as defined in CISPR 11.

NOTE The careful application of de-coupling practices during installation helps to minimize the external transient influences. For example, control-circuit wiring can be separated from power-circuit wiring. Where closely coupled wiring cannot be avoided, twisted pairs or shielded wiring can be used for control-circuit connections.

A number of requirements are listed. The test results are specified using the performance criteria of IEC 61000-4 series. For convenience, the performance criteria are quoted here and described in more specific detail in Table 12.

These criteria are:

- 1) the normal performance within the specification limits;
- 2) the temporary degradation or loss of function or performance which is self-recoverable;
- 3) the temporary degradation or loss of function or performance which requires operator intervention or system reset. Normal functions must be restorable by simple intervention, for example by manual reset or restart. There must not be any damaged components.

In Table 12, the acceptable performance criteria, which are used when a complete controller is tested, are described for overall performance (A). When it is not possible to test the complete controller, the individual circuit elements (B, C) are used.

Table 12 – Specific performance criteria when EM disturbances are present

Item	Performance criteria during tests		
	1	2	3
A Overall performance	No noticeable changes of the operating characteristic. Operating as intended.	Noticeable changes (visual or audible) of the operating characteristic. Self-recoverable.	Changes in operating characteristic. Triggering of protective devices. Not self-recoverable.
B Operation of displays and control panels	No changes to visible display information. Only slight light intensity fluctuation of LED's, or slight movement of characters.	Temporary visible changes or loss of information. Undesired LED illumination.	Shut-down. Permanent loss or display of wrong information. Unpermitted operating mode. Not self-recoverable.
C Information processing and sensing functions	Undisturbed communication and data interchange to external devices.	Temporarily disturbed communication with possible error reports of the internal and external devices.	Erroneous processing of information. Loss of data and/or information. Errors in communication. Not self-recoverable.

8.3.3.2 Electrostatic discharges

The test values and procedures are given in 9.4.2.1.

8.3.3.3 Radiofrequency electromagnetic fields

The test values and procedures are given in 9.4.2.2.

8.3.3.4 Fast transients (5/50 ns)

The test values and procedures are given in 9.4.2.3.

8.3.3.5 Surges (1,2/50 µs – 8/20 µs)

The test values and procedures are given in 9.4.2.4.

8.3.3.6 Harmonics and commutation notches

The test values and procedures are given in 9.4.2.5.

8.3.3.7 Voltage dips and short-time interruptions

The test values and procedures are given in 9.4.2.6.

8.3.3.8 Power-frequency magnetic field

Tests are not required. Immunity is demonstrated by the successful completion of the operating capability test (see 9.3.3.6).

9 Tests

9.1 Kinds of tests

9.1.1 General

Subclause 8.1.1 of IEC 60947-1:2007 applies.

9.1.2 Type tests

Type tests are intended to verify compliance of the design of controllers and contactors of all forms with this standard. They comprise the verification of

- a) temperature-rise limits (see 9.3.3.3);
- b) dielectric properties (see 9.3.3.4);
- c) operating capability (see 9.3.3.6);
- d) operation and operating limits (see 9.3.3.6.4);
- e) rated making and breaking capacity and conventional operational performance of series mechanical switching devices of hybrid equipment (see 9.3.3.5);
- f) performance under short-circuit conditions (see 9.3.4);
- g) mechanical properties of terminals (8.2.4 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies);
- h) degrees of protection of enclosed controllers and contactors (Annex C of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies);
- i) EMC tests (see 9.4).

9.1.3 Routine tests

Subclause 8.1.3 of IEC 60947-1:2007 applies where sampling tests (see 9.1.4) are not made instead.

Routine tests for controllers and contactors comprise

- operation and operating limits (see 9.3.6.2);
- dielectric tests (see 9.3.6.3).

9.1.4 Sampling tests

Sampling tests for controllers and contactors comprise

- operation and operating limits (see 9.3.6.2);
- dielectric tests (see 9.3.6.3).

Subclause 8.1.4 of IEC 60947-1:2007 applies with the following amplification.

A manufacturer may use sampling tests instead of routine tests at his own discretion. Sampling shall meet or exceed the following requirements as specified in IEC 60410 (see Table II-A of IEC 60410:1973).

Sampling is based on $AQL \leq 1$:

- acceptance number $Ac = 0$ (no defect accepted);
- rejection number $Re = 1$ (if one defect, the entire lot shall be tested).

Sampling shall be made at regular intervals for each specific lot.

Alternative statistical methods that ensure compliance with IEC 60410 requirements can be used, for example statistical methods controlling continuous manufacturing or process control with capability index.

Sampling tests for clearance verification according to 8.3.3.4.3 of IEC 60947-1:2007 are under consideration.

9.1.5 Special tests

Special tests comprise damp heat, salt mist, vibration and shock tests. For these tests, Annex Q of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies. The conditions of application are under consideration.

9.2 Compliance with constructional requirements

Subclause 8.2 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies.

9.3 Compliance with performance requirements

9.3.1 Test sequences

Each test sequence is made on a new sample.

NOTE 1 With the agreement of the manufacturer more than one test sequence or all sequences can be conducted on one sample. However, the tests are to be conducted in the sequence given for each sample.

NOTE 2 Some tests are included in the sequences solely to reduce the number of samples required, the results have no significance for the preceding or following tests in the sequence. Therefore, for convenience of testing and by agreement with the manufacturer, these tests can be conducted on separate new samples and omitted from the relevant sequence. This only applies to the following tests when called for:

- 8.3.3.4.1 item 7) of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010): Verification of creepage distance;
- 8.2.4 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010): Mechanical properties of terminals;
- Annex C of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010): Degrees of protection of enclosed equipment.

For convenience of testing, compliance with 8.2.4.2 is omitted from the following test sequence. None the less, the manufacturer is obliged to verify compliance by other convenient means.

The test sequence shall be as follows:

- a) Test sequence I
 - 1) Verification of temperature rise (see 9.3.3.3)
 - 2) Verification of dielectric properties (see 9.3.3.4)
- b) Test sequence II: operating capability verification (see 9.3.3.6)
 - 1) Thermal stability test (see 9.3.3.6.2)
 - 2) Overload capability test (see 9.3.3.6.3)

- 3) Blocking and commutating capability test (see 9.3.3.6.4) including verification of operation and operating limits
- c) Test sequence III
Performance under short-circuit conditions (see 9.3.4)
- d) Test sequence IV
 - 1) Verification of mechanical properties of terminals (8.2.4 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010))
 - 2) Verification of degrees of protection of enclosed equipment (see Annex C of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010))
- e) Test sequence V
EMC tests (see 9.4).

9.3.2 General test conditions

Subclause 8.3.2 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies with the following addition.

Except for devices specifically rated for only one frequency, tests performed at 50 Hz cover 60 Hz applications and vice-versa.

The selection of samples to be tested for a series of devices with the same fundamental design and without a significant difference in construction shall be based on engineering judgement.

Unless otherwise specified in the relevant test clause, the clamping torque for connections shall be that specified by the manufacturer or, if not specified, the torque given in Table 4 of IEC 60947-1:2007.

In the case where several heat sinks are specified, the one which has the higher thermal resistance shall be used.

True r.m.s. voltage and current measuring means shall be used.

9.3.3 Performance under no load, normal load and overload conditions

9.3.3.1 Vacant

9.3.3.2 Vacant

9.3.3.3 Temperature rise

9.3.3.3.1 Ambient air temperature

Subclause 8.3.3.3.1 of IEC 60947-1:2007 applies.

9.3.3.3.2 Measurement of the temperature of parts

Subclause 8.3.3.3.2 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies.

9.3.3.3.3 Temperature rise of a part

Subclause 8.3.3.3.3 of IEC 60947-1:2007.

9.3.3.3.4 Temperature rise of the main circuit

Subclause 8.3.3.3.4 of IEC 60947-1:2007 applies with the exception that a single phase test shall be conducted with all poles in the main circuit loaded at their individual maximum rated currents and as stated in 8.2.2.4, and with the following additions:

For semiconductor switching devices connected in the main circuit (see 8.2.2.4), temperature sensing means shall be attached to the outer surface of the case of the semiconductor switching device that is most likely to produce the highest temperature rise during this test. The final case temperature, C_f , and the final ambient temperature, A_f , shall be recorded for use in the test of 9.3.3.6.3.

For mechanical switching devices (see 8.2.2.4.2 and 8.2.2.4.4), temperature sensing means shall be attached in accordance with the requirements of 8.3.3.3 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010).

All auxiliary circuits which normally carry current shall be loaded at their maximum rated operational current (see 5.6) and the control circuits shall be energized at their rated voltages.

9.3.3.3.5 Temperature rise of control circuits

Subclause 8.3.3.3.5 of IEC 60947-1:2007 applies, with the following addition.

The temperature rise shall be measured during the test of 9.3.3.3.4.

9.3.3.3.6 Temperature rise of coils and electromagnets

Subclause 8.3.3.3.6 of IEC 60947-1:2007 applies with the following addition.

Electromagnets of mechanical switching devices intended for duty within semiconductor controllers or for mechanical bypass switching means shall comply with 8.2.2.6 with rated current flowing through the main circuit for the duration of the test. The temperature rise shall be measured during the test of 9.3.3.3.4.

9.3.3.3.7 Temperature rise of auxiliary circuits

Subclause 8.3.3.3.7 of IEC 60947-1:2007 applies with the following addition.

The temperature rise shall be measured during the test of 9.3.3.3.4.

9.3.3.4 Dielectric properties

9.3.3.4.1 Type tests

1) General conditions for withstand voltage tests

Subclause 8.3.3.4.1 1) of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies except the last note. See also 8.2.3.

2) Verification of impulse withstand voltage

a) General

Subclause 8.3.3.4.1 2) a) of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies.

b) Test voltage

Subclause 8.3.3.4.1 2) b) of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies with the following sentence added.

For any part for which the dielectric properties are not sensitive to altitude (e.g. optocoupler, potted parts, etc.) the correction factor for altitude is not applicable.

c) Application of test voltage

With the equipment mounted and prepared as specified in item 1) above, the test voltage is applied as follows:

- i) between all the terminals of the main circuit connected together (including the control and auxiliary circuits connected to the main circuit) and the enclosure or mounting plate, with the contacts, if any, in all normal positions of operation;
- ii) for poles of the main circuit declared galvanically separated from the other poles: between each pole and the other poles connected together and to the enclosure or mounting plate, with the contacts, if any, in all normal positions of operation;
- iii) between each control and auxiliary circuit not normally connected to the main circuit and
 - the main circuit;
 - the other circuits;
 - the exposed conductive parts;
 - the enclosure or mounting plate, which, wherever appropriate, may be connected together;
- iv) for equipment suitable for isolation, across the poles of the main circuit, the line terminals being connected together and the load terminals connected together. The test voltage shall be applied between the line and load terminals of the equipment with the contacts in the isolated open position and its value shall be as specified in item 1) b) of 7.2.3.1 of IEC 60947-1:2007.

d) Acceptance criteria

Subclause 8.3.3.4.1 2) d) of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies.

3) Power-frequency withstand verification of solid insulation

a) General

Subclause 8.3.3.4.1 3) a) of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies.

b) Test voltage

Subclause 8.3.3.4.1 3) b) of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies with the following sentence added at the end of the first paragraph.

If an alternating test voltage cannot be applied due to the EMC filter components, which cannot easily be disconnected, a direct test voltage may be used having the same value as the crest value of the projected alternating test voltage.

c) Application of test voltage

Subclause 8.3.3.4.1 3) c) of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies with the two last sentences modified as follows:

The test voltage shall be applied for 5 s, with the following conditions:

- in accordance with items i), ii) and iii) of 2) c) above;
- for hybrid semiconductor controllers or contactors, across the poles of the main circuit, the line terminals being connected together and the load terminals connected together.

d) Acceptance criteria

Subclause 8.3.3.4.1 3) d) of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies.

4) Power-frequency withstand verification after switching and short-circuit tests

a) General

Subclause 8.3.3.4.1 4) a) of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies.

b) Test voltage

Subclause 8.3.3.4.1 4) b) of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies.

c) Application of test voltage

Subclause 8.3.3.4.1 4) c) of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies with the following sentence added at the end of the paragraph.

The use of a metal foil, as mentioned in 8.3.3.4.1 1) of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010), is not required.

d) Acceptance criteria

Subclause 8.3.3.4.1 4) d) of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies.

5) Vacant

6) Verification of d.c. withstand voltage

Subclause 8.3.3.4.1 6) of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies.

7) Verification of creepage distances

Subclause 8.3.3.4.1 7) of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies (see also 8.1.3).

8) Verification of leakage current of equipment suitable for isolation

The maximum leakage current shall not exceed the values of 7.2.7 of IEC 60947-1:2007.

9.3.3.4.2 Vacant

9.3.3.4.3 Sampling tests for verification of clearances

1) General

Subclause 8.3.3.4.3 1) of IEC 60947-1:2007 applies.

2) Test voltage

The test voltage shall be that corresponding to the rated impulse withstand voltage.

Sampling plans and procedure are under consideration.

3) Application of test voltage

Subclause 8.3.3.4.3 3) of IEC 60947-1:2007 applies.

4) Acceptance criteria

Subclause 8.3.3.4.3 4) of IEC 60947-1:2007 applies.

9.3.3.5 Making and breaking capacity of mechanical switching devices

9.3.3.5.1 General

It shall be verified that mechanical switching devices meet the requirements of 8.2.4.2.

If the mechanical switching device has not passed previous tests, compliance with 8.2.4.2 and the following subclauses is required. The making and breaking capacity shall be verified in accordance with 8.3.3.5 of IEC 60947-1:2007.

9.3.3.5.2 Series mechanical switching devices of hybrid controllers

The verification shall be made using one of the following methods:

- a) the subject device may be tested as a separate component, or
- b) the complete hybrid controller may be tested with the subject devices installed as in normal service and with the semiconductor components of each pole shorted out.

9.3.3.5.3 Type tested, parallel mechanical switching devices of bypassed controllers

The subject device shall be tested as a separate device.

9.3.3.5.4 Dependent, parallel mechanical switching devices of bypassed controllers

The complete unit with bypass installed shall be tested as in normal service. The operational sequence, to simulate switching (ON and OFF), shall be the same as in normal service.

9.3.3.6 Operating capability

9.3.3.6.1 General

Compliance with the operating capability requirements of 8.2.4.1 shall be verified by the following three tests.

- a) thermal stability tests;
- b) overload capability tests;
- c) blocking and commutation capability test.

The tests simulate 8 h duty.

Connections to the main circuit shall be similar to those intended to be used when the equipment is in service. The control voltage shall be fixed at 110 % of the rated control supply voltage U_s .

Table 13 – Thermal stability test specifications

Test details	Level	Instructions
Test objective	To verify that the temperature variation between successive identical operating cycles in a sequence reduces to less than 5 % within an 8 h period To verify that the temperature rise of the accessible terminals of the mechanical switching device in the main circuit does not exceed the limit prescribed by Table 2 of IEC 60947-1:2007	
Test duration	Run test until	$\Delta_n \leq 0,05$ or 8 h have elapsed $\Delta_n = (C_n - C_{n-1} - A_n + A_{n-1})/(C_{n-1})$
Test conditions	Table 7	
EUT ^a temperature	C _n , case temperature	Temperature sensing means attached to the outer surface of one semiconductor switching device (see 9.3.3.3.4) Monitor the semiconductor switching device that is likely to be the hottest
Ambient temperature	A _n , any level convenient	Temperature sensing means to monitor changes in ambient temperature (8.3.3.3.1 of IEC 60947-1:2007 applies)
Results to be obtained	1) $\Delta_n \leq 0,05$ within 8 h 2) No visual evidence of damage (such as smoke, discoloration) 3) The temperature rise of the accessible terminals of the mechanical switching device in the main circuit shall not exceed the limit prescribed by Table 2 of IEC 60947-1:2007 4) When the terminals are not accessible, the values of Table 2 of IEC 60947-1:2007 may be exceeded provided that adjacent parts are not impaired	
^a Equipment under test.		

Table 14 – Initial case temperature requirements

Operating cycle number	Initial case temperature, C_i °C
1	Not less than 40 °C.
2	Highest temperature enabling resetting after the first operating cycle of the overcurrent protective means recommended by the manufacturer to be used together with the controller or the contactor.
3 and 4	≥ 40 °C plus the maximum case temperature rise during the temperature-rise test (see 9.3.3.3).

9.3.3.6.2 Thermal stability test procedure

Test specifications and acceptance criteria are given in Table 13. The test profiles are illustrated in Figure F.1.

- 1) Assign a sequence number, n , to each on-load period in the test series (i.e. $n = 0, 1, 2, \dots, n - 1, N$).
- 2) Record initial case temperature C_0 . Record initial ambient temperature A_0 .
- 3) Set test current, I_T (see Table 7). Change n to a new value where $n = n + 1$.
- 4) Apply test voltage U_T , to the input main circuit terminals of the EUT (equipment under test). U_T may remain applied for the duration of the test or, may be switched ON-OFF in synchronism with the operation of control voltage U_c .

Switch EUT to ON-state (EUT control voltage, U_c , is ON).

NOTE The time span of T_x commences at the instant when the test current reaches the value $X \times I_e$. Therefore, the time for the test current ramp to reach $X \times I_e$ increases the total test time.

- 5) After time interval T_x (Table 7), switch EUT to OFF-state.
- 6) Record case temperature C_n . Record ambient temperature A_n .
- 7) Decision to terminate (or continue) test:
 - a) Calculate case temperature-rise change factor:

$$\Delta_n = (C_n - C_{n-1} - A_n + A_{n-1}) / (C_{n-1})$$
 - b) Check compliance with results to be obtained (see Table 13)

If $\Delta_n > 0,05$, and total test time is less than 8 h and results to be obtained 1) and 2) of Table 13) are not violated, repeat steps 3 through 7.

If $\Delta_n > 0,05$, and total test time is greater than 8 h or results to be obtained are violated, end test. This is a failure.

If $\Delta_n \leq 0,05$, and total test time is less than 8 h, and results 1), 2), 3) and 4) of Table 13 are not violated, end test. This is successful compliance.

9.3.3.6.3 Overload capability test procedure

- 1) Test conditions
 - a) Refer to Table 8. The test profile is represented in Figure F.2.
 - b) Controllers and contactors utilizing a current-controlled cut-out device in addition to an overcurrent protective means that provides protection against overload conditions during running in the FULL-ON state, shall be tested with the cut-out device in place. In this test, it is acceptable for the cut-out device to switch the EUT to the OFF-state in a time shorter than the specified ON-time.
- 2) EUT adjustments
 - a) EUT shall be adjusted to minimize the time to establish the test current level.

- b) EUT fitted with a current-limit function shall be set to the highest value of X specified for I_e .

3) Test

- a) Establish initial conditions.
- b) Apply test voltage to the input main circuit terminals of the EUT.
(With form HxA, the series mechanical switching device contact is closed. With form HxB, the series mechanical switching device is open.)
The test voltage shall be applied for the duration of the test.
- c) Switch the EUT to ON-state.
- d) After the ON-time (see Table 8), switch the EUT to the OFF-state.

NOTE In the case of form HxB, the OFF-state will be replaced by the OPEN-state.

- e) Repeat steps c) and d) twice. End test.

4) Verify the criteria (see 9.3.3.6.5)

- a) No loss of commutating capability.
- b) No loss of blocking capability.
- c) No loss of functionality.
- d) No visual evidence of damage.

9.3.3.6.4 Blocking and commutating capability test

Test specifications are given in Table 9. The test profiles are shown in Figure F.3.

For form HxA, the contacts of the series mechanical switching device shall be maintained in the closed position for the duration of the test.

For form HxB, the contacts of the series mechanical switching device may be operated to perform the testing cycles. However, the measurements of voltage across the poles shall be performed with the series contacts closed, and with the semiconductor switching devices in the OFF-state. The manufacturer shall provide instructions for fitting the EUT with special features that will permit compliance with the voltage measurement requirements.

- 1) The EUT shall be mounted and connected as in normal use with cable length between the EUT and test load not greater than 10 m.
- 2) The current measuring means shall be installed in a manner that is appropriate for recording the values of the leakage current through the controller in steps 3) and 7).

If other auxiliary circuits or devices are connected in parallel with the semiconductor elements, care shall be taken in order to avoid measuring the parallel currents; only the leakage current of the semiconductor elements shall be measured and the means for obtaining those measures shall be installed accordingly.

- 3) With the voltages (see Table 9) applied to the EUT, and with the control voltage U_c OFF, measure the current through each pole of the EUT and record these measurements as a set of initial data points, I_0 .

The test circuit shall remain closed from the start of step 4) through the completion of step 7). The current measuring means may be shorted by remote control means during steps 5) and 6), but it may not be removed by opening the circuit.

- 4) To start the test, the test voltages (as specified in Table 9) are applied to the EUT and maintained for the duration of the test through the completion of step 7).
- 5) By means of the control voltage U_c , cycle the EUT between the ON-state and the OFF-state as specified in Table 9. If the controller does not perform as intended, or if evidence of damage develops, the test is discontinued, and considered a failure.

- 6) After the required number of operating cycles, turn U_c to OFF with the test voltages remaining ON, allow the EUT to return to the initial ambient temperature.
- 7) Repeat the current measurement procedure of step 3) and record as a set of final data points, I_F , corresponding to the set of initial data points, I_0 .
- 8) Determine the values regarding the leakage currents through each pole as specified under item 1) of Table 9.

To obtain successful compliance, the criteria given under items 1), 2) and 3) of Table 9 shall be fulfilled.

9.3.3.6.5 Behaviour of the semiconductor controller during, and condition after, the operating capability tests

a) Commutating capability

If semiconductor devices do not commute properly, the early stage of the failure mode is evidenced by degraded performance. Continued operation in this mode will cause thermal runaway. The ultimate result will be excessive heating and loss of blocking capability.

b) Thermal stability

Semiconductor devices subject to rapid operating cycles may not cool properly. The early effects may initiate a thermal runaway condition leading to loss of blocking capability.

c) Blocking capability

Blocking capability is the ability to turn OFF and remain OFF whenever required. Excessive thermal stress will degrade blocking capability. The failure mode is evidenced by a partial or total loss of control.

d) Functionality

Some failure modes may not be catastrophic in the early stages. These failures are evident from gradual loss of function. Early detection and correction may prevent permanent damage.

e) Visual inspection

Ultimately, excessive thermal stresses due to elevated temperatures may cause permanent damage. Visual evidence (smoke or discoloration) provides early warning of ultimate failure.

9.3.4 Performance under short-circuit conditions

This subclause specifies test conditions for verification of compliance with the requirements of 8.2.5.1. Specific requirements regarding test procedure, test sequence, condition of equipment after the test and types of coordination are given in 9.3.4.1 and 9.3.4.3.

9.3.4.1 General conditions for short-circuit tests

General conditions for short-circuit tests are as follows:

- "O" operation: as a pre-test condition, the contactor/controller shall be sustained in the ON-state by an initiating load. The pre-test current may be held at any arbitrary low level of current that is greater than the minimum load current (see 3.1.11) of the contactor/controller. The short-circuit current is applied to the contactor/controller by closing the shorting switch. The SCPD shall interrupt the short-circuit current and the contactor/controller shall withstand the let-through current;
- "CO" operation for direct on-line equipment.

Initial case temperature shall not be less than 40 °C. In some cases, it may be impossible to pre-heat the EUT and maintain the initial case temperature at a test site that is fitted for short-circuit testing only. In these cases, the manufacturer and user may agree to test the EUT at ambient temperature. If used, the lower temperature shall be recorded in the test report.

9.3.4.1.1 General requirements for short-circuit tests

The general requirements of 8.3.4.1.1 of IEC 60947-1:2007 apply with the following modification.

The enclosure shall be in accordance with the manufacturer's specifications. In the case where multiple enclosure options are provided, the enclosure with the smallest volume shall be taken.

If devices tested in free air may also be used in enclosures, they shall be additionally tested in the smallest of such enclosures stated by the manufacturer. For devices tested only in free air, information shall be provided to indicate that they are not suitable for use in an individual enclosure.

9.3.4.1.2 Test circuit for the verification of short-circuit ratings

Subclause 8.3.4.1.2 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) applies except that for type 1 coordination, the fusible element F and the resistance R_L are replaced by a solid 6 mm² wire 1,2 m to 1,8 m in length, connected to the neutral, or with the agreement of the manufacturer, to one of the poles.

NOTE This larger size of wire is not used as a detector but to establish an earth condition allowing the damage to be evaluated.

The test circuit of 8.3.4.1.2 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010) shall be modified and wired as shown in Figure I.1. The initiating load and the shorting switch shall have the following characteristics:

- a) the initiating load shall be in accordance with the requirements given in 8.2.4.3;
- b) the shorting switch (not a part of the EUT) shall be capable of making and carrying the short-circuit current with no tendency to interfere with the process of applying the short-circuit current (e.g. bounce or other intermittent openings of the contacts).

9.3.4.1.3 Power factor of the test circuit

Subclause 8.3.4.1.3 of IEC 60947-1:2007 applies.

9.3.4.1.4 Vacant

9.3.4.1.5 Calibration of the test circuit

Subclause 8.3.4.1.5 of 60947-1:2007 applies.

9.3.4.1.6 Test procedure

Subclause 8.3.4.1.6 of IEC 60947-1:2007 applies with the following additions.

The controller or contactor and its associated SCPD shall be mounted and connected as in normal use. They shall be connected in the circuit using a maximum of 2,4 m of cable (corresponding to the operational current of the controller or contactor) for each main circuit.

If the SCPD is separate from the controller or contactor, it shall be connected using the cable specified above (the total length of cable shall not exceed 2,4 m).

Three-phase tests are considered to cover single-phase applications.

The time-line for the test sequence is shown in Figure I.2.

- a) The test is started with the shorting switch in the open position (time T0).

- b) The test voltage is then applied and the initiating load shall limit the current to a level that is, at least, sufficient to maintain the controller in the ON-state (time T1).
- c) At any arbitrary time after the current through the contactor/controller has stabilized, the shorting switch may then be closed at random and thereby establish a short-circuit current path through the EUT (time T2) which shall be cleared by the SCPD (time T3).

9.3.4.1.7 Vacant

9.3.4.1.8 Interpretation of records

Subclause 8.3.4.1.8 of IEC 60947-1:2007 applies.

9.3.4.2 Vacant

9.3.4.3 Conditional short-circuit current of controllers and contactors

9.3.4.3.1 General

The controller or contactor and the associated SCPD shall be subjected to the tests given in 9.3.4.4.2.

No further testing is required for bypassed controllers with independent components.

Bypassed controllers having dependent components shall be submitted to two separate short-circuit tests in accordance with 9.3.4.

- a) Test 1: The test is conducted with the semiconductors in the conducting mode and with the bypass contacts open. This is intended to simulate short-circuit conditions occurring while starting in a mode that is controlled by the semiconductors.
- b) Test 2: The test is conducted with the semiconductors bypassed with the bypass contacts closed. This is intended to simulate short-circuit conditions occurring while the semiconductors of the EUT are bypassed.

The tests shall be conducted under conditions corresponding to the maximum I_e and the maximum U_e for utilization category AC-51.

When the same semiconductor component is used for several ratings, the test shall be performed under the conditions corresponding to the highest rated current I_e .

The controls shall be energized by a separate electrical supply at the specified control voltage. The SCPD used shall be as stated in 8.2.5.1.

If the SCPD is a circuit-breaker with an adjustable current setting, the test shall be done with the circuit-breaker adjusted to the maximum setting for type 1 coordination and to the maximum declared setting for type 2 coordination.

During the test, all openings of the enclosure shall be closed as in normal service and the door or cover secured by the means provided.

A controller or contactor covering a range of load ratings and equipped with interchangeable overcurrent protective means shall be tested with the overcurrent protective means with the highest impedance and the overcurrent protective means with the lowest impedance together with the corresponding SCPDs.

The O or CO operation shall be performed with one sample at I_q .

9.3.4.3.2 Test at the rated conditional short-circuit current at I_q

The circuit shall be adjusted to the prospective short-circuit current I_q equal to the rated conditional short-circuit current.

If the SCPD is a fuse and the test current is within the current-limiting range of the fuse then, if possible, the fuse shall be selected to allow the maximum value of cut-off current I_c (according to Figure 4 of IEC 60269-1:2006) and the maximum let-through I^2t values.

Except for direct on-line contactors, one breaking operation of the SCPD shall be performed with the contactor in the full-ON state and the SCPD closed; the short-circuit current shall be switched on by a separate switching device.

For direct on-line contactors, one breaking operation of the SCPD shall be performed by closing the contactor on to the short circuit.

9.3.4.3.3 Results to be obtained

The controller or contactor shall be considered to have passed the tests at the prospective current I_q if the following conditions are met for the claimed type of coordination.

For both types of coordination,

- a) the fault current has been successfully interrupted by the SCPD or the contactor. In addition, the fusible element or solid connection between the enclosure and supply shall not have melted;
- b) the door or cover of the enclosure has not been blown open, and it is possible to open the door or cover. Deformation of enclosure is considered acceptable, provided the degree of protection by the enclosure is not less than IP2X;
- c) there is no damage to the conductors or terminals and the conductors have not been separated from the terminals;
- d) there is no cracking or breaking of an insulating base to the extent that the integrity of mounting of a live part is impaired;

Type 1 coordination:

- e) there has been no discharge of parts beyond the enclosure. Damage to the controller and overcurrent protective means is acceptable. The contactor or the controller may be inoperative after the test;

Type 2 coordination:

- f) no damage to the overcurrent protective means or other parts has occurred and no replacement of parts is permitted during the test. For hybrid controllers and contactors, welding of contacts is permitted, if they are easily separated (e.g. by a screwdriver) without significant deformation. In the case of welded contacts as described above, the functionality of the device shall be verified under the conditions of Table 8 for the declared utilization category by carrying out 10 operating cycles (instead of five);
- g) the tripping of the overcurrent protective means shall be verified at a multiple of the current setting and shall conform to the published tripping characteristics both before and after the short-circuit test;
- h) the adequacy of the insulation shall be verified by a dielectric test on the controller or contactor. The test voltage shall be applied as specified in 9.3.3.4.1 4).

9.3.5 Disponible

9.4 General

All emission and immunity tests are type tests and shall be carried out under representative conditions, both operational and environmental, using the manufacturer's recommended wiring practices and including any enclosures specified by the manufacturer.

An incandescent light load and a capacitive load are required for the purpose of testing in the case of AC-55b and AC-56b, respectively. However, for a device intended to be used for several utilization categories, the tests shall be made only with a load corresponding to AC-51. If the device is not intended for AC-51 category use, the tests shall be made for the utilization category defined by agreement between manufacturer and user. Except for the harmonic emission test, it is not necessary to load the lighting circuit or capacitor. If the load used in any test is of lower power than the intended power range of the semiconductor controller, it shall be stated in the test report. For category AC-51, the equipment under test shall be tested at the rated operational current and with a $\cos \varphi = 1^{-0,05}$. For devices of current $I_e \leq 16$ A, the test current shall be I_e . For devices of current $I_e > 16$ A, the test current shall be the object of an agreement between the manufacturer and the user, provided this current is more than 16 A. This value shall be stated in the test report. Tests are not required on the power output port. Unless otherwise specified by the manufacturer, the length of the connections to the test load shall be 3 m.

NOTE The scanning time for frequency analysis is often much longer than the transition time. According to the current IEC 61000-4 series, relevant result of measurement can only be obtained in steady-state conditions.

The test report shall give all the relevant information relating to the tests (for example load conditions, cable arrangement, etc.). A functional description and a definition of specification limits for the performance criteria shall be provided by the manufacturer and noted in the test report. The test report shall include any special measures that have been taken to achieve compliance, for example the use of shielded or special cables. A list of auxiliary equipment which, together with the controller, comprises the equipment necessary to comply with the immunity or emission requirements, shall also be included in the report. The tests shall be carried out at the rated supply voltage U_s and in a reproducible manner.

Form 4 controllers, in which the power switching elements, for example thyristors, are not fully conducting during some or all steady-state modes of operation, shall be tested under conditions of minimum conduction chosen by the manufacturer to represent the operation of the controller at the points of sustained maximum emission or susceptibility (see 9.4.1).

9.4.1 EMC emission tests

9.4.1.1 Conducted radiofrequency emission test

The description of the test, the test method and the test set-up are given in CISPR 11.

It shall be sufficient to test two samples from a range of controllers of different power ratings which represent the highest and lowest power ratings of the range.

The emission shall not exceed the levels given in Table 15.

All emission tests shall be performed under steady-state conditions.

If an EMC filter is required to fulfil the emission levels given in Table 15, its reference or characteristics has to be stated in the test report.

Table 15 – Terminal disturbance voltage limits for conducted radiofrequency emission

Frequency range MHz	Environment A ^a rated input power ≤ 20 kVA		Environment A ^{a, b} rated input power > 20 kVA		Environment B ^a	
	Quasi-peak dB (μV)	Average dB (μV)	Quasi-peak dB (μV)	Average dB (μV)	Quasi-peak dB (μV)	Average dB (μV)
0,15 to 0,5	79	66	100	90	66 to 56 (decrease with log of frequency)	56 to 46 (decrease with log of frequency)
0,5 to 5	73	60	86	76	56	46
5 to 30	73	60	90 to 73 (decrease with log of frequency)	80 to 60 (decrease with log of frequency)	60	50

At the transition frequency, the more stringent limit shall apply.

^a Defined by IEC 60947-1.

^b These limits apply to equipment with a rated input power > 20 kVA. The manufacturer and/or supplier shall provide information on installation measures that can be used to reduce emissions from the installed equipment. In particular, it shall be indicated that this equipment is intended to be powered by a dedicated power transformer or generator and not LV overhead power lines.

Limits in accordance with CISPR 11, Group 1.

9.4.1.2 Radiated radiofrequency emission test

The description of the test, the test method and the test set-up are given in CISPR 11.

NOTE In the USA, digital devices with power consumption less than 6 nW, are exempt from RF emission tests.

It shall be sufficient to test a single representative sample from a range of controllers and contactors of different power ratings.

The emission shall not exceed the levels given in Table 16.

Table 16 – Radiated emissions test limits

Frequency range MHz	Environment A ^a Quasi-peak dB (μV)			Environment B ^a Quasi-peak dB (μV)	
	at 30 m	at 10 m	at 3 m	at 10 m	at 3 m
30 to 230	30	40	50	30	40
230 to 1 000	37	47	57	37	47

At the transition frequency, the more stringent limit shall apply.

^a Tests may be carried out at 3 m distance only to small equipment (equipment, either positioned on a table top or standing on the floor which, including its cables fits in a cylindrical test volume of 1,2 m in diameter and 1,5 m above the ground plane).

9.4.2 EMC immunity tests

Where a range of controllers comprise similarly configured control electronics, within similar frame sizes, it is only necessary to test a single representative sample of the controller or contactor as specified by the manufacturer.

9.4.2.1 Electrostatic discharge

Subclause 8.4.1.2.2 of IEC 60947-1:2007 applies with the following addition:

The performance criterion 2 of Table 12 of this standard applies.

Tests are not required on power terminals. Discharges shall be applied only to points which are accessible during normal usage.

Tests are not possible if the controller is an open frame or chassis unit or of degree of protection IP00. In this case, the manufacturer shall attach a label to the unit advising of the possibility of damage due to static discharge.

9.4.2.2 Radiofrequency electromagnetic field

For conducted immunity tests, the subclause 8.4.1.2.6 of IEC 60947-1:2007 applies with the following addition:

The performance criterion 1 of Table 12 of this standard applies.

For radiofrequency electromagnetic field strength, the subclause 8.4.1.2.3 of IEC 60947-1:2007 applies with the following addition:

The performance criterion 1 of Table 12 of this standard applies.

9.4.2.3 Fast transients (5/50 ns)

Subclause 8.4.1.2.4 of IEC 60947-1:2007 applies with the following additions:

Terminals for control and auxiliary circuits intended for the connection of conductors which extend more than 3 m shall be tested.

The controller shall comply with performance criterion 2 of Table 12 of this standard.

9.4.2.4 Surges (1,2/50 μ s – 8/20 μ s)

Subclause 8.4.1.2.5 of IEC 60947-1:2007 applies.

The preferred phase angle is 90° or 270°. Other phase angles according to IEC 61000-4-5 shall be also tested if they correspond to the worst case.

NOTE By principle, 90° and 270° are the worst testing cases for the power semiconductor valves.

The controller shall comply with performance criterion 2 of Table 12 of this standard.

9.4.2.5 Harmonics and commutation notches

No requirements, the test levels are under study for the future.

9.4.2.6 Voltage dips and short time interruptions

Subclause 8.4.1.2.8 of IEC 60947-1:2007 applies with the performance criterion 3 of Table 12 of this standard, class 3 as given in Table 23 of IEC 60947-1 2007, Amendment 1 (2010), except for 0,5 cycle and 1 cycle for which the performance criterion 2 of Table 12 of this standard applies.

9.5 Routine and sampling tests

9.5.1 General

Routine tests are tests to which each individual controller or contactor is subjected during or after manufacture to verify that it complies with the stated requirements.

Routine or sampling tests shall be carried out under the same or equivalent conditions to those specified for type tests in the relevant parts of 9.1.2. However, the limits of operation in 9.5.2 may be verified at the prevailing ambient air temperature and on the overcurrent protective means alone but a correction may be necessary to allow for the normal ambient conditions.

9.5.2 Operation and operating limits

It shall be verified that the equipment operates according to the requirements of 8.2.1.2 and 8.2.1.5.

The functionality specified in 8.2.1.2 shall be verified by a blocking and commutating capability test according to Table 9 and 9.3.3.6.4. Two operating cycles are required, one at 85 % U_e with 85 % U_s , and one at 110 % U_e with 110 % U_s .

The 2 following tests shall be made.

- a) Functionality shall be verified by a blocking and commutating capability test according to Table 9.

Two operating cycles are required, one at 85 % U_e with 85 % U_s , and one at 110 % U_e with 110 % U_s . No loss of functionality as specified by the manufacturer is permitted.

- b) It shall be verified that the equipment operates according to the requirements of 8.2.1.5.

9.5.3 Dielectric tests

The metal foil need not be applied. The tests shall be conducted on dry and clean controllers and contactors.

Verification of dielectric withstand may be performed before final assembly of the device (that is, before connecting sensitive devices such as filter capacitors).

- 1) Impulse withstand voltage

Subclause 8.3.3.4.2 of IEC 60947-1:2007 applies.

- 2) Power-frequency withstand voltage

Subclause 8.3.3.4.2 of IEC 60947-1:2007 applies.

- 3) Combined impulse voltage and power-frequency withstand voltage

The tests of items 1) and 2) above may be replaced by a single power-frequency withstand test where the peak value of the sinusoidal wave corresponds to the value stated in items 1) or 2), whichever is the higher.

Annex A (normative)

Marking and identification of terminals

A.1 General

The purpose of identifying terminals is to provide information regarding the function of each terminal or its location with respect to other terminals or for other use.

A.2 Marking and identification of terminals of controller and contactors

A.2.1 Marking and identification of terminals of main circuits

The terminals of the main circuits shall be marked by single figure numbers and an alphanumeric system.

Table A.1 – Main circuit terminal markings

Terminals	Markings
Main circuit	1/L1-2/T1 3/L2-4/T2 5-L3-6/T3 7/L4-8/T4

For particular types of controllers and contactors (see 5.2.e)3) the manufacturer shall provide the wiring diagram.

A.2.2 Marking and identification of terminals of control circuits

A.2.2.1 Control-circuit power supply terminals

Under consideration.

A.2.2.2 Control-circuit input/output signal terminals

Under consideration.

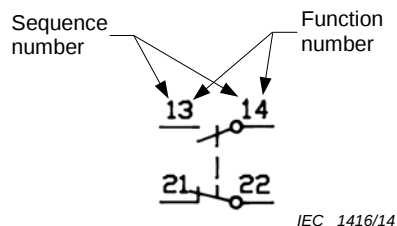
A.2.3 Marking and identification of auxiliary circuits

A.2.3.1 General

The terminals of auxiliary circuits shall be marked or identified on the diagrams by two figure numbers:

- the unit is a function number;
- the figure of the tens is a sequence number.

The following examples illustrate such a marking system.

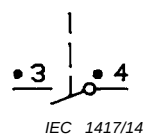
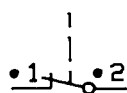


A.2.3.2 Function number

Function numbers 1, 2 are allocated to circuits with break contacts and function numbers 3, 4 to circuits with make contacts.

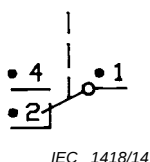
NOTE 1 The definitions for make contacts and break contacts are given in 2.3.12 and 2.3.13, respectively, of IEC 60947-1:2007.

Examples:



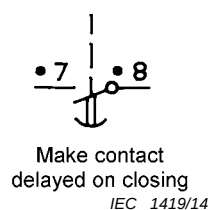
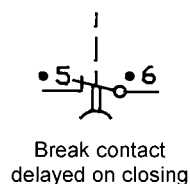
NOTE 2 The dots in the above examples take the place of the sequence numbers which are added according to the application.

The terminals of circuits with change-over contact elements shall be marked by the function numbers 1, 2 and 4.



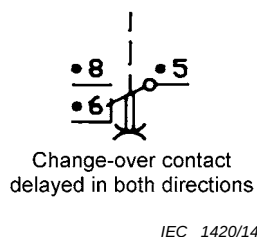
Function numbers 5 and 6 (for break contacts) and 7 and 8 (for make contacts) are allocated to terminals of auxiliary circuits containing auxiliary contacts with special functions.

Example:



The terminals of circuits with change-over contact elements with special functions shall be marked by function numbers 5, 6 and 8.

Example:



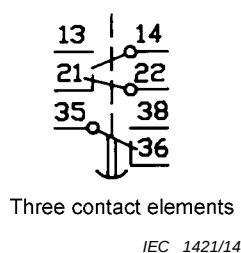
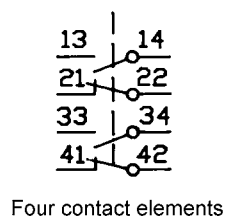
A.2.3.3 Sequence number

Terminals belonging to the same contact element shall be marked by the same sequence number.

All contact elements having the same function shall have different sequence numbers.

The sequence number may be omitted from the terminals only if additional information provided by the manufacturer or the user clearly gives such number.

Example:



Annex B (informative)

Typical service conditions for controllers and contactors

B.1 Control of resistive heating elements

Three typical methods of control a), b) and c) are described:

- a) simple contactor function of switching on and off. Single-pole semiconductor controllers or contactors (form 5 controllers) with zero-point switching may be used to minimize the switching-on transient (AC-51);
- b) in the case of wire-wound resistor elements, the switch-on current may be as high as 1,4 times the rated current. Ramp-up switch-on of such heating elements by means of a gradual increase in the terminal voltage can minimize mechanical and electrical stressing;
- c) load control of resistance-heating elements by adjusting the load terminal voltage (voltage control) and the ratio of ON to OFF time (full voltage switching), or a combination of these. The load control may be achieved by means of a feed-back signal from the load to a comparator circuit or device which determines the operating cycle and/or output voltage of the semiconductor controller. This comparator or control device may be incorporated in the semiconductor controller or be used merely to generate the switching signal (for example in the case of a form 5 controller, i.e. a semiconductor contactor).

B.2 Switching of electric discharge lamp controls

The relevant utilization category should be selected with the following items a) to d) into account;

- a) During the normal switch-on phase, fluorescent lamps without power factor correction or those in a twin lamp lead-lag connection, draw pre-heating currents which may attain values of about twice the rated current for a short period of time (AC-55a).

In the case of parallel compensated fluorescent lamps, transient inrush currents of 20 times the capacitor rated current can occur (AC-56b).

In the case of fluorescent lamps with electronic ballast units, inrush currents of 10 times the lamp rated current can occur for short periods of time.

- b) High-pressure mercury-vapour and metal halide lamps (with or without power-factor correction) are switched on via ballast units in the form of series inductors and, in the case of the metal halide lamps, with the aid of ignition devices. During the initial 3 min to 5 min after switch-on, and before the lamps achieve their normal operating condition at rated current, a predominantly inductive current is drawn. This current may be as high as twice the rated current of the lamp. The over-current profile of the semiconductor contactor shall permit this value of current (AC-55a).
- c) High-pressure sodium vapour lamps (without power-factor correction) draw an inductive current of approximately 1,7 to 2,2 times their rated current for 5 min to 10 min before achieving their operational condition. The over-current profile of the semiconductor contactor shall permit this value of current (AC-55a).
- d) High-pressure mercury vapour, metal halide and sodium vapour lamps with power-factor correction, draw high transient capacitive inrush currents. These should be taken into account when selecting semiconductor contactors for such loads (AC-56b).

B.3 Switching of incandescent lamps

Semiconductor contactors can be used to switch incandescent lighting circuits often associated with high switch-on transient currents (AC-55b).

Short circuits between filament turns in incandescent lamps can cause extreme overcurrents to flow through the series connected switching device. This phenomena is classified as a short-circuit condition. The coordination between the semiconductor contactor and the short-circuit protection device (possibly incorporated in the lamp) is covered by 8.2.5.

B.4 Switching of transformers

Semiconductor contactors with defined point switching and special ramp-up switching function may be used to optimize the switching of transformer loads (surge limitation), since the high transient inrush currents associated with the switching-on of transformers is strongly dependent on the phase angle of the applied voltage at the instant current begins to flow.

B.5 Switching of capacitor banks

The amplitude and frequency of transient switch-on currents are not only determined by the capacitance of the load but also by the reactances in the associated circuit and supply lines as well as the point on the wave form of the applied a.c. voltage at which current begins to flow. In the case of capacitor banks (for example of a power-factor correction system), capacitors already in circuit present an additional energy source and can discharge into the switched capacitive load via low inductance linking conductors and the item of switchgear (for example semiconductor contactor). These high-inrush currents shall be taken into account when selecting the switching device (AC-56b).

Moreover, care should be taken regarding the overvoltage (difference between the capacitor voltage and the supply voltage).

Annex C

Vacant

Annex D

Vacant

Annex E

Vacant

Annex F
(informative)

Operating capability

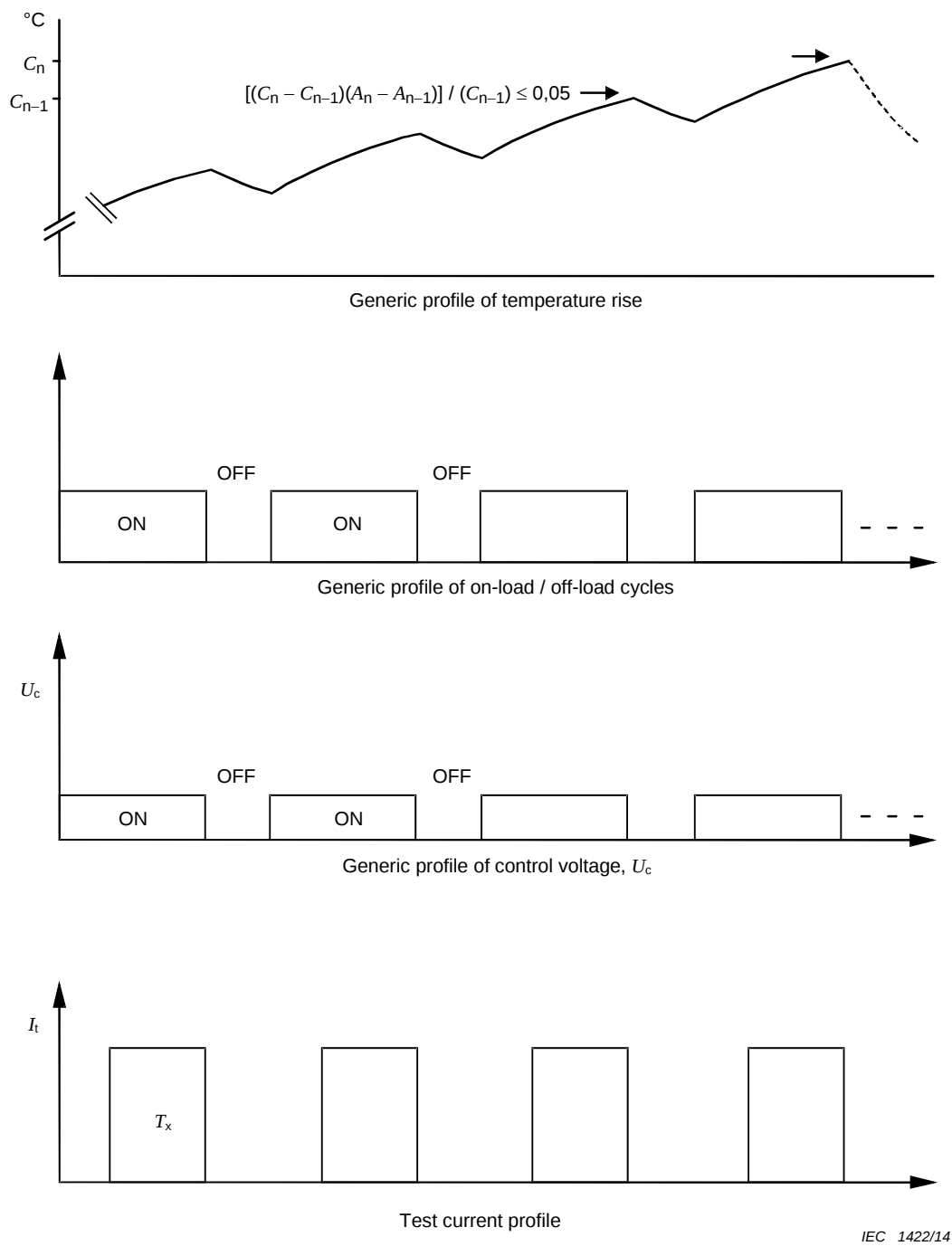
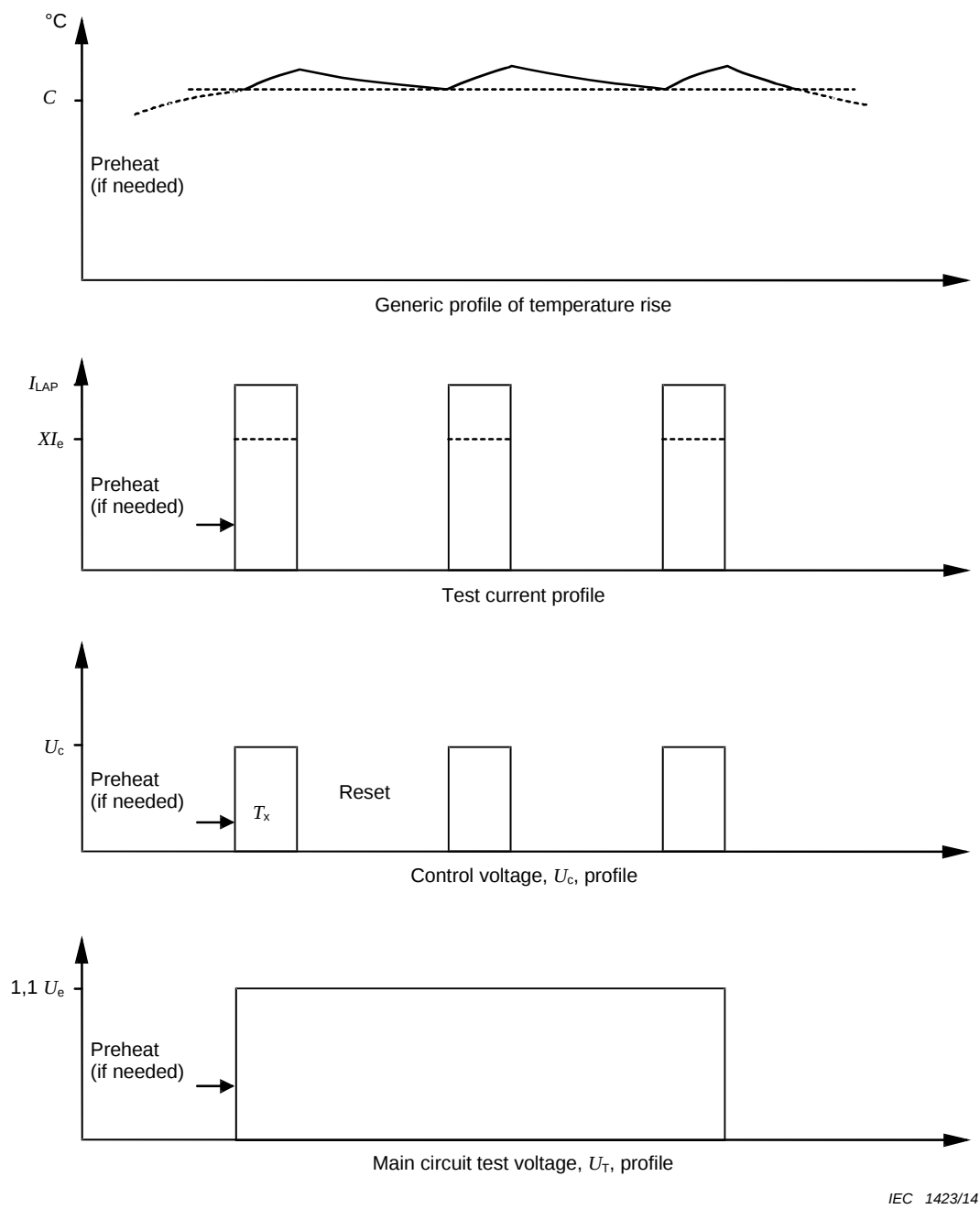


Figure F.1 – Thermal stability test profile



IEC 1423/14

Figure F.2 – Overload capability test profile

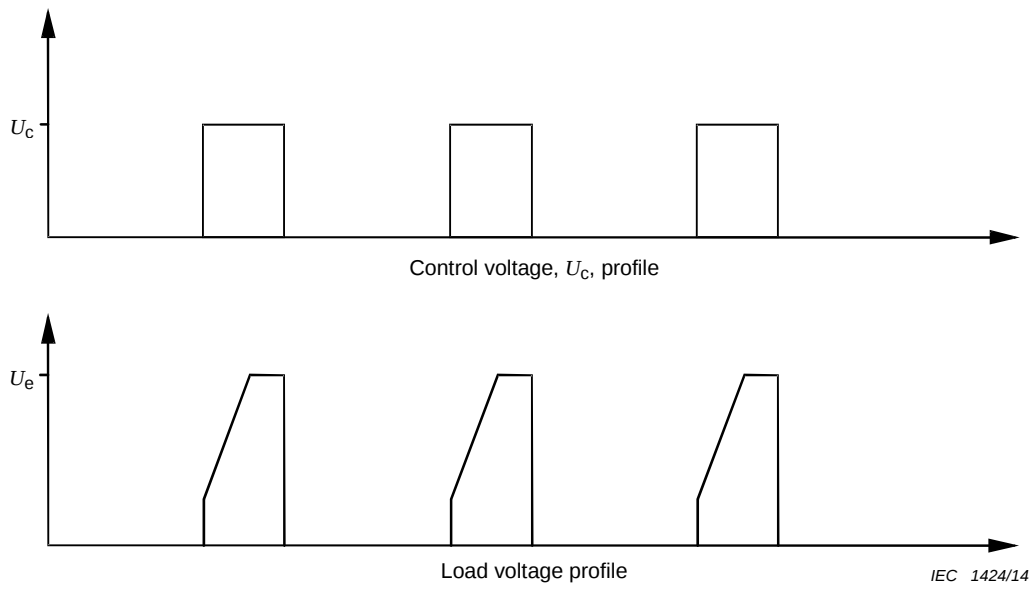


Figure F.3 – Blocking and commutating capability test profile

Annex G

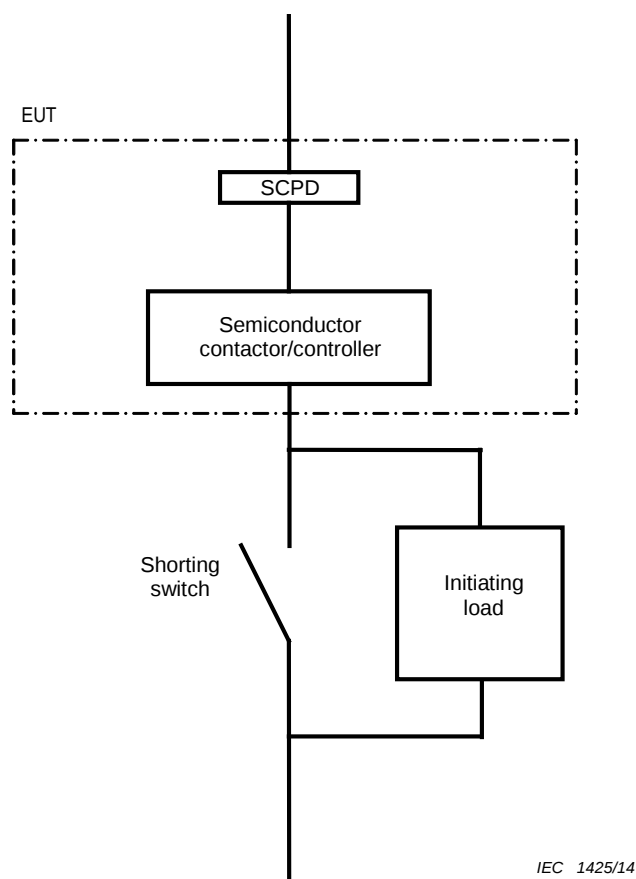
Vacant

Annex H

Vacant

Annex I (normative)

Modified test circuit for short-circuit testing of semiconductor contactors and controllers



Key

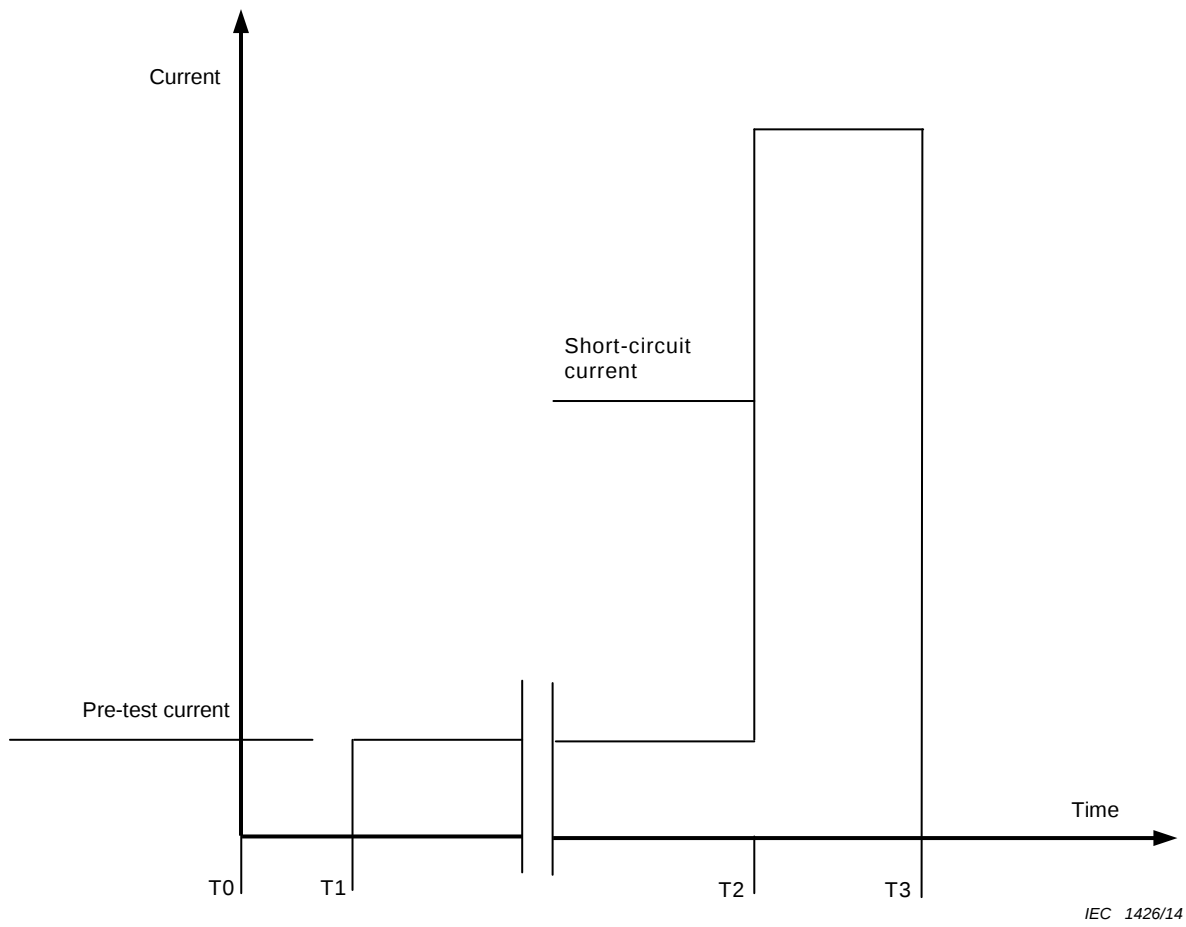
EUT Equipment under test (including connecting cables)

NOTE Outline includes metallic screen or enclosure.

Figure I.1 – Modified circuit for short-circuit testing of semiconductor devices

The standard circuits for short-circuit tests are illustrated in Figures 9 to 12 of IEC 60947-1:2007, Amendment 1 (2010).

This diagram illustrates the modifications to only one phase of the standard test circuit for conducting short-circuit tests of semiconductor controllers. The modifications to each phase of the test circuit are identical for testing polyphase devices. The only modifications to be made are those shown in this figure.



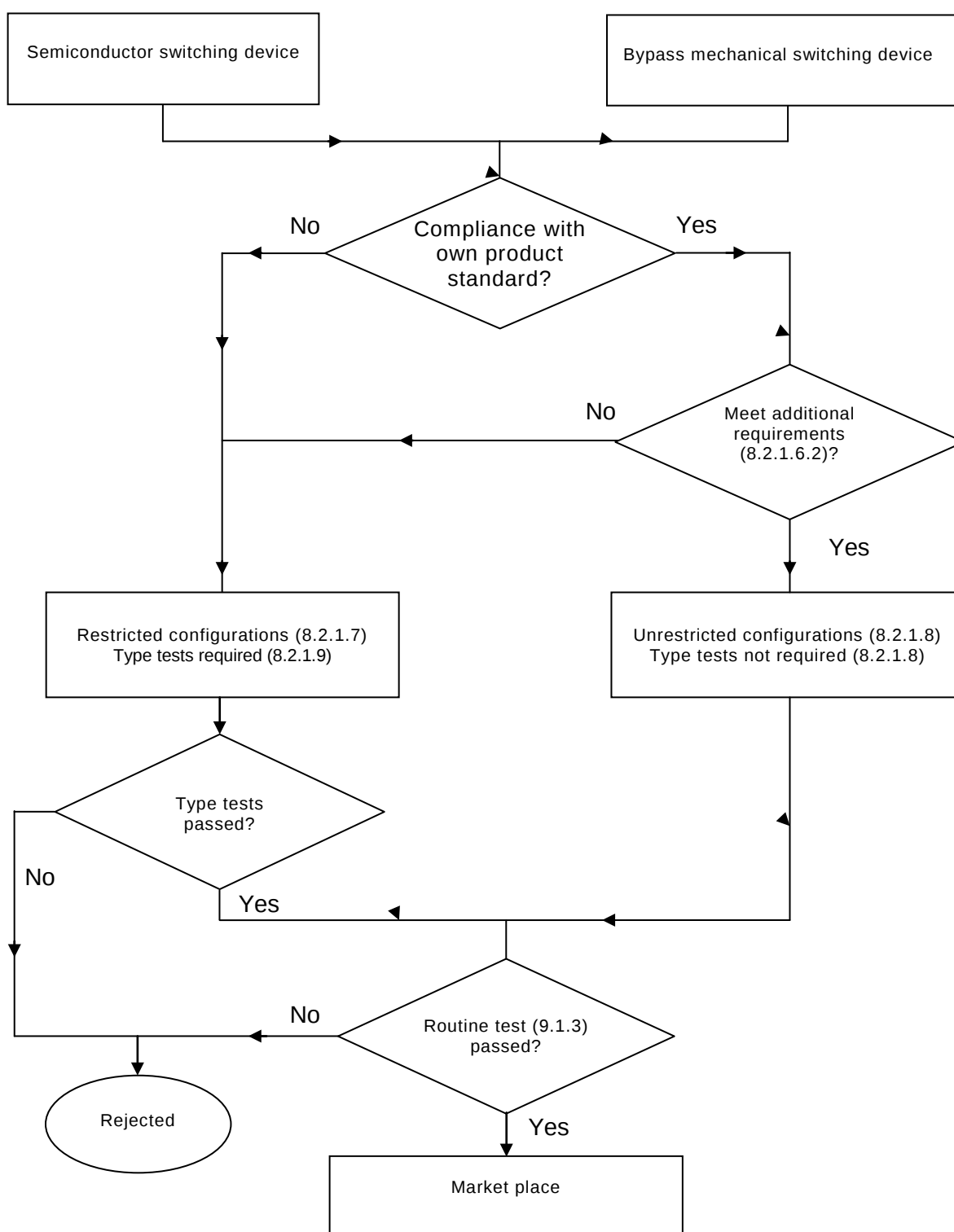
Key

- T0 shorting switch opens (9.3.4.1.6 a))
- T1 test circuit is energized (9.3.4.1.6 b))
- T2 shorting switch is closed (9.3.4.1.6 c))
- T3 SCPD clears the fault

Figure I.2 – Time line for the short-circuit test of 9.3.4.1.6

Annex J (informative)

Flowchart for constructing bypassed semiconductor controllers tests



Bibliography

IEC 60050-161:1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*
Amendment 1:1997
Amendment 2:1998

IEC 60085:2007, *Electrical insulation – Thermal evaluation and designation*

IEC 60146 (all parts), *Semiconductor convertors – General requirements and line commutated convertors*

IEC 60664 (all parts), *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems*

IEC 60947-4-2:2011, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 4-2: Contactors and motor-starters – AC semiconductor motor controllers and starters*

IEC 61439 (all parts), *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	84
INTRODUCTION.....	86
1 Domaine d'application	87
2 Références normatives	88
3 Termes, définitions, symboles et abréviations.....	88
3.1 Termes et définitions concernant les appareils de commande à semiconducteurs (pour des charges autres que des moteurs) pour courant alternatif.....	89
3.1.1 Gradateurs et contacteurs à semiconducteurs (contacteurs statiques) pour courant alternatif (voir Figure 1)	89
3.1.2 Gradateurs et contacteurs hybrides (voir Figure 1)	92
3.2 Disponible.....	96
3.3 Symboles et abréviations	96
4 Classification.....	97
5 Caractéristiques des gradateurs et contacteurs à semiconducteurs à courant alternatif	97
5.1 Enumération des caractéristiques	97
5.2 Type du matériel.....	97
5.3 Valeurs assignées et valeurs limites des circuits principaux	100
5.3.1 Tensions assignées	100
5.3.2 Courants.....	100
5.3.3 Fréquence assignée	100
5.3.4 Service assigné	100
5.3.5 Caractéristiques en conditions normales de charge et de surcharge	101
5.3.6 Courant assigné de court-circuit conditionnel.....	102
5.4 Catégories d'emploi	102
5.4.1 Attribution des caractéristiques assignées suivant les résultats d'essais.....	103
5.5 Circuits de commande	104
5.6 Circuits auxiliaires.....	104
5.7 Disponible.....	105
5.8 Coordination avec les dispositifs de protection contre les courts-circuits (DPCC)	105
6 Information sur le matériel	105
6.1 Nature des informations	105
6.2 Marquage	106
6.3 Instructions d'installation, de fonctionnement et d'entretien.....	106
7 Conditions normales de service, de montage et de transport	107
7.1 Conditions normales de service	107
7.1.1 Température de l'air ambiant	107
7.1.2 Altitude	107
7.1.3 Conditions atmosphériques.....	107
7.1.4 Chocs et vibrations	107
7.2 Conditions pendant le transport et le stockage.....	107
7.3 Montage.....	108
7.4 Perturbations du réseau électrique et influences	108

8	Dispositions relatives à la construction et au fonctionnement.....	108
8.1	Dispositions constructives.....	108
8.1.1	Généralités.....	108
8.1.2	Matériaux.....	108
8.1.3	Parties transportant le courant et leurs connexions.....	108
8.1.4	Distances d'isolement et lignes de fuite.....	108
8.1.5	Organe de commande.....	108
8.1.6	Indication de la position des contacts.....	108
8.1.7	Exigences supplémentaires pour les matériels aptes au sectionnement.....	108
8.1.8	Bornes.....	109
8.1.9	Exigences supplémentaires pour les matériels dotés d'un pôle neutre.....	109
8.1.10	Dispositions pour assurer la mise à la terre de protection.....	109
8.1.11	Enveloppes pour matériels.....	109
8.1.12	Degrés de protection du matériel sous enveloppe.....	109
8.1.13	Traction, torsion et flexion avec des conduits métalliques.....	109
8.2	Dispositions relatives au fonctionnement.....	109
8.2.1	Conditions de fonctionnement.....	109
8.2.2	Echauffement.....	111
8.2.3	Propriétés diélectriques.....	113
8.2.4	Exigences de fonctionnement dans des conditions normales de charge et de surcharge.....	114
8.2.5	Coordination avec dispositif de protection contre les courts-circuits.....	121
8.3	Exigences concernant la CEM.....	121
8.3.1	Généralités.....	121
8.3.2	Emission.....	122
8.3.3	Immunité.....	122
9	Essais.....	124
9.1	Nature des essais.....	124
9.1.1	Généralités.....	124
9.1.2	Essais de type.....	124
9.1.3	Essais individuels.....	125
9.1.4	Essais sur prélèvement.....	125
9.1.5	Essais spéciaux.....	125
9.2	Conformité aux dispositions relatives à la construction.....	125
9.3	Conformité aux exigences relatives au fonctionnement.....	125
9.3.1	Séquences d'essais.....	125
9.3.2	Conditions générales d'essai.....	126
9.3.3	Fonctionnement à vide, dans les conditions normales de charge et dans les conditions de surcharge.....	127
9.3.4	Fonctionnement dans des conditions de court-circuit.....	134
9.3.5	Disponible.....	137
9.4	Essais CEM.....	137
9.4.1	Essais d'émission CEM.....	138
9.4.2	Essais d'immunité CEM.....	140
9.5	Essais individuels et par prélèvement.....	141
9.5.1	Généralités.....	141
9.5.2	Fonctionnement et limites de fonctionnement.....	141

9.5.3	Essais diélectriques	141
Annexe A (normative)	Marquage et identification des bornes	143
A.1	Généralités	143
A.2	Marquage et identification des bornes des gradateurs et contacteurs.....	143
A.2.1	Marquage et identification des bornes des circuits principaux	143
A.2.2	Marquage et identification des bornes des circuits de commande	143
A.2.3	Marquage et identification des circuits auxiliaires	143
Annexe B (informative)	Conditions de service typique pour les gradateurs et contacteurs	146
B.1	Contrôle d'éléments chauffants à résistance	146
B.2	Commande de lampes à décharge électrique	146
B.3	Commutation de lampes à incandescence.....	147
B.4	Commutation de transformateurs	147
B.5	Commutation de bancs de condensateurs	147
Annexe C	Disponible	148
Annexe D	Disponible	149
Annexe E	Disponible.....	150
Annexe F (informative)	Aptitude au fonctionnement	151
Annexe G	Disponible	154
Annexe H	Disponible	155
Annexe I (normative)	Circuit d'essai modifié pour l'essai de court-circuit des contacteurs et gradateurs à semiconducteurs	156
Annexe J (informative)	Diagramme pour définir les essais des gradateurs à semiconducteurs à dérivation.....	158
Bibliographie.....		159
Figure 1 – Représentations graphiques des gradateurs		91
Figure 2 – Méthodes de connexion		99
Figure F.1 – Profil d'essai de stabilité thermique		151
Figure F.2 – Profil d'essai de capacité de surcharge		152
Figure F.3 – Profil d'essai de capacité de blocage et d'aptitude à la commutation		153
Figure I.1 – Circuit modifié pour l'essai de court-circuit des appareils à semiconducteurs.....		156
Figure I.2 – Chronologie pour l'essai de court-circuit de 9.3.4.1.6		157
Tableau 1 – Fonctions possibles des gradateurs et contacteurs.....		92
Tableau 2 – Catégories d'emploi.....		103
Tableau 3 – Niveaux de sévérité relatifs		104
Tableau 4 – Limites d'échauffement pour les bobines isolées dans l'air et dans l'huile.....		113
Tableau 5 – Données pour les cycles d'essai de service intermittent		113
Tableau 6 – Durée minimale (T_X) de tenue au courant de surcharge en fonction du rapport (X) du courant de surcharge.....		116
Tableau 7 – Exigences minimales pour les conditions d'essai de stabilité thermique.....		116
Tableau 8 – Exigences minimales pour les conditions d'essai de tenue aux surcharges.....		117
Tableau 9 – Exigences minimales et conditions pour les essais de fonctionnement, y compris l'aptitude au blocage et à la commutation		118

Tableau 10 – Essai de fermeture et de coupure – Conditions d'établissement et de coupure selon les catégories d'emploi pour les dispositifs mécaniques de connexion de gradateur et contacteur hybride H4, H5.....	119
Tableau 11 – Essai de fonctionnement conventionnel – Conditions d'établissement et de coupure selon les catégories d'emploi pour les dispositifs mécaniques de connexion des gradateurs et contacteurs H4B, H5B.....	120
Tableau 12 – Critères de comportement spécifiques en présence de perturbations électromagnétiques.....	123
Tableau 13 – Spécifications d'essai pour la stabilité thermique	131
Tableau 14 – Exigences de température initiale du boîtier	131
Tableau 15 – Limites de perturbation en tension sur les bornes pour les émissions conduites aux fréquences radioélectriques.....	139
Tableau 16 – Limites d'essai d'émissions rayonnées.....	139
Tableau A.1 – Marquages des bornes des circuits principaux	143

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPAREILLAGE À BASSE TENSION –

Partie 4-3: Contacteurs et démarreurs de moteurs – Gradateurs et contacteurs à semiconducteurs pour charges, autres que des moteurs, à courant alternatif

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC 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 l'IEC. L'IEC 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC 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 Norme internationale IEC 60947-4-3 a été établie par le sous-comité 17B: Appareillage à basse tension, du comité d'études 17 de l'IEC: Appareillage.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1999, l'Amendement 1:2006 et l'Amendement 2:2011. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) mise à jour des exigences de marquage (6.1);
- b) mise à jour des exigences de CEM (8.3.2); et
- c) mise à jour des exigences d'essais (9.3.1, 9.4, 9.4.1.1, 9.4.1.2, 9.4.2.1, 9.4.2.2, 9.4.2.3, 9.4.2.4, 9.4.2.6).

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
121A/2/FDIS	121A/14/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/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60947, publiées sous le titre général *Appareillage à basse tension*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

La présente norme doit être lue conjointement avec l'IEC 60947-1, *Appareillage à basse tension – Partie 1 : Règles générales*. Les dispositions des règles générales sont applicables à la présente norme, lorsque cela est spécifiquement mentionné.

Les dispositions des règles générales (IEC 60947-1) sont applicables à la présente norme lorsque celle-ci le précise. Les articles, les paragraphes ainsi que les tableaux, les figures et les annexes qui sont applicables sont identifiés par référence à l'IEC 60947-1 par exemple 1.2.3 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010), Tableau 4 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) ou Annexe A de l'IEC 60947-1:2007.

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 l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTRODUCTION

La présente partie de l'IEC 60947 concerne les gradateurs et les contacteurs à basse tension à semiconducteurs à courant alternatif prévus pour être utilisés avec des charges autres que des moteurs. En tant que gradateurs, ils ont de nombreuses possibilités au-delà de la simple commutation de charges autres que des moteurs. En tant que contacteurs, ils assurent les mêmes fonctions que les contacteurs mécaniques, mais utilisent un ou plusieurs dispositifs de commutation à semiconducteurs dans leurs pôles principaux.

Les appareils peuvent être unipolaires ou multipolaires (voir 2.3.1 de l'IEC 60947-1). La présente norme traite des dispositifs complets caractérisés comme étant une unité incorporant tout le matériel de dissipation de chaleur nécessaire et les bornes. Il comprend les appareils avec toutes les bornes nécessaires qui sont fournies avec ou sans dissipateur de chaleur démontable pour montage par les utilisateurs lorsque le constructeur donne avec le dispositif des informations détaillées pour choisir le dissipateur de chaleur et pour monter l'appareil sur le dissipateur de chaleur.

Le terme générique «gradateur» est utilisé dans la présente norme là où seules les caractéristiques de commutation des éléments de puissance à semiconducteurs représentent l'intérêt essentiel. Le terme générique «contacteur» est utilisé dans la présente norme partout où seule la caractéristique de commutation marche/arrêt représente l'intérêt essentiel. Les désignations spécifiques (par exemple variante 4, variante HxB, etc.) sont utilisées chaque fois que les caractéristiques spécifiques de ces différentes configurations représentent l'intérêt essentiel.

APPAREILLAGE À BASSE TENSION –

Partie 4-3: Contacteurs et démarreurs de moteurs – Gradateurs et contacteurs à semiconducteurs pour charges, autres que des moteurs, à courant alternatif

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60947 s'applique aux gradateurs et démarreurs à semiconducteurs à courant alternatif pour des charges autres que des moteurs prévus pour effectuer des manœuvres électriques en changeant l'état des circuits électriques à courant alternatif entre l'état passant et l'état bloqué. Des applications typiques classées par catégorie d'emploi sont données au Tableau 2.

En tant que gradateurs, ils peuvent être utilisés afin de réduire l'amplitude de la tension efficace en courant alternatif sur les bornes côté charge provenant de la tension appliquée, de façon continue ou pour une période spécifiée de temps. La demi-période de la forme d'onde en courant alternatif reste inchangée par rapport à celle de la tension appliquée.

Ils peuvent comprendre en série des appareils mécaniques de connexion et sont destinés à être connectés à des circuits dont la tension assignée ne dépasse pas 1 000 V en courant alternatif.

La présente norme définit les caractéristiques des gradateurs et contacteurs pour une utilisation avec ou sans appareil de connexion de court-circuitage.

Les gradateurs et contacteurs à semiconducteurs couverts par cette norme ne sont normalement pas prévus pour interrompre des courants de court-circuit. En conséquence, il convient qu'une protection adaptée contre les courts-circuits (voir 8.2.5) fasse partie de l'installation mais pas nécessairement du contacteur lui-même.

Dans ce contexte, la présente norme donne les exigences pour les gradateurs et contacteurs à semiconducteurs associés à des dispositifs séparés de protection contre les courts-circuits.

La présente norme ne s'applique pas

- aux manœuvres de moteurs à courant alternatif et à courant continu;
- aux gradateurs et démarreurs à basse tension à semiconducteurs de moteurs à courant alternatif couverts par l'IEC 60947-4-2;
- aux gradateurs électroniques de puissance couverts par la série IEC 60146;
- aux relais de tout ou rien à l'état solide.

Il convient que les contacteurs et les dispositifs pour circuits de commande utilisés dans les gradateurs et contacteurs à semiconducteurs soient conformes aux exigences de leur norme de produit correspondante. Lorsque des dispositifs de commutation mécaniques sont utilisés, il est recommandé qu'ils satisfassent à leur propre norme de produit de l'IEC et aux exigences supplémentaires de la présente norme.

La présente norme a pour objet de fixer

- a) les caractéristiques des gradateurs et contacteurs à semiconducteurs et le matériel associé;
- b) les conditions à remplir par les gradateurs et les contacteurs à semiconducteurs pour
 - leur fonctionnement et leur comportement;
 - leurs propriétés diélectriques;
 - les degrés de protection procurés par leur enveloppe, le cas échéant;
 - leur construction;
- c) les essais prévus pour confirmer que ces conditions ont été remplies et les méthodes à adopter pour ces essais;
- d) les informations à donner sur le matériel ou dans la documentation du constructeur.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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).

IEC 60269-1:2006, *Fusibles basse tension – Partie 1:Exigences générales*

IEC 60410:1973, *Plans et règles d'échantillonnage pour les contrôles par attributs*

IEC 60947-1:2007, *Appareillage à basse tension – Partie 1:Règles générales*
Amendement 1:2010

IEC 61000-4 (toutes les parties), *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4:Techniques d'essai et de mesure*

IEC 61000-4-5:2005, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-5:Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes de choc*

CISPR 11:2009, *Appareils industriels, scientifiques et médicaux – Caractéristiques de perturbations radioélectriques – Limites et méthodes de mesure*
Amendement 1:2010

3 Termes, définitions, symboles et abréviations

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'Article 2 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010), ainsi que les termes et définitions supplémentaires suivants, s'appliquent:

	Référence
A	
Aptitude au fonctionnement	3.1.16
C	
Commande de charge	3.1.4
Commutation aléatoire (d'un gradateur à semiconducteurs)	3.1.14.4.3
Commutation au point zéro (d'un gradateur à semiconducteurs)	3.1.14.4.2
Commutation en un point défini (d'un gradateur à semiconducteurs)	3.1.14.4.1
Courant de fuite à l'état bloqué	3.1.13

Courant minimal de charge	3.1.11
Cycle de manœuvres (d'un gradateur)	3.1.15
D	
Détection du courant minimal de charge	3.1.11.1
Durée à l'état bloqué.....	3.1.23
Durée à l'état passant.....	3.1.22
E	
Etat bloqué	3.1.12
Etat passant	3.1.9
F	
Fonction de commutation	3.1.14.1
Fonction de commutation instantanée	3.1.14.3
Fonction de limitation de courant	3.1.3
G	
Gradateur à déclenchement libre	3.1.20
Gradateur à dérivation	3.1.24
Gradateur à semiconducteurs (variante 4)	3.1.1.1.1
Gradateur à semiconducteurs direct en ligne (DOL) (variante 5)	3.1.1.1.3
Gradateur à semiconducteurs pour courant alternatif	3.1.1.1
Gradateurs ou contacteurs hybrides, variante HxB.....	3.1.2.2
Gradateurs ou contacteurs hybrides de variante HxA (où x = 4 ou 5)	3.1.2.1
I	
Index caractéristique.....	3.1.18
M	
Manœuvre (d'un gradateur)	3.1.14
Manœuvre de déclenchement (d'un gradateur)	3.1.19
Moyens de protection contre les surcharges	3.1.21
P	
Pleine conduction (état des gradateurs)	3.1.10
Point de commutation	3.1.14.4
Position d'ouverture	3.1.2.3
Profil de courant de surcharge	3.1.17
R	
Rampe croissante	3.1.5
Rampe décroissante	3.1.6

3.1 Termes et définitions concernant les appareils de commande à semiconducteurs (pour des charges autres que des moteurs) pour courant alternatif

3.1.1 Gradateurs et contacteurs à semiconducteurs (contacteurs statiques) pour courant alternatif (voir Figure 1)

3.1.1.1

gradateur à semiconducteurs pour courant alternatif

appareil de connexion à semiconducteurs qui assure une fonction de commutation d'une charge (autre que moteur) pour courant alternatif et fournit un état bloqué

Note 1 à l'article: Etant donné les niveaux dangereux de courants de fuite (voir 3.1.13) pouvant exister dans un gradateur à semiconducteurs à l'état bloqué, il convient de considérer les bornes comme étant en permanence sous tension.

Note 2 à l'article: Dans un circuit où le courant passe par zéro (alternativement ou autrement), l'effet de ne pas établir le courant après une telle valeur égale à zéro est équivalent à couper le courant.

Note 3 à l'article: Voir 2.2.3 de l'IEC 60947-1:2007 pour la définition d'appareil de connexion à semiconducteurs.

3.1.1.1.1

gradateur à semiconducteurs (variante 4)

gradateur à semiconducteurs pour courant alternatif dans lequel la fonction de commutation peut comprendre toute méthode spécifiée par le constructeur. Il assure les fonctions de commande qui peuvent inclure toute combinaison de rampe croissante, de commande, de charge ou de rampe décroissante. Un état à pleine conduction peut être fourni

3.1.1.1.2

Disponible

3.1.1.1.3

gradateur à semiconducteurs direct en ligne (variante 5)

gradateur à semiconducteurs DOL (variante 5)

variante spéciale de gradateur à semiconducteurs pour courant alternatif dans lequel la fonction de commutation est limitée à la pleine tension, méthode sans rampe uniquement, et où la fonction supplémentaire de commande est limitée pour assurer la pleine conduction (également connu comme étant un contacteur à semiconducteurs ou contacteur statique)

Note 1 à l'article: C'est un appareil (voir 2.2.13 de l'IEC 60947-1:2007) qui assure la fonction d'un contacteur en utilisant un dispositif de commutation à semiconducteurs (voir 2.2.3 de l'IEC 60947-1:2007). Il a seulement une position de repos (état bloqué ou état ouvert dans le cas d'un gradateur hybride HxB) et est manœuvré par l'application d'un signal de commande. Il est capable de transporter des courants de charge et également de changer l'état de ladite charge (circuit électrique) entre l'état de pleine conduction et l'état bloqué (OUVERT) dans des conditions normales du circuit y compris les conditions de fonctionnement en surcharge.

3.1.1.2
Disponible

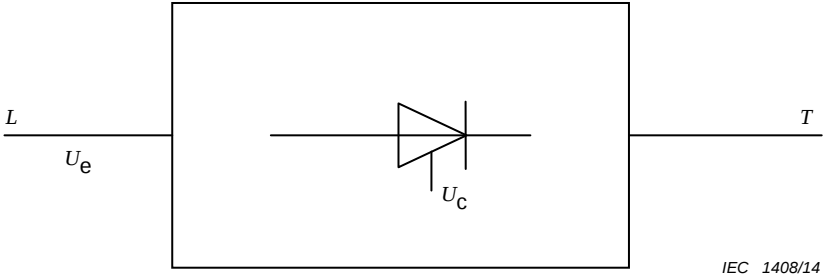
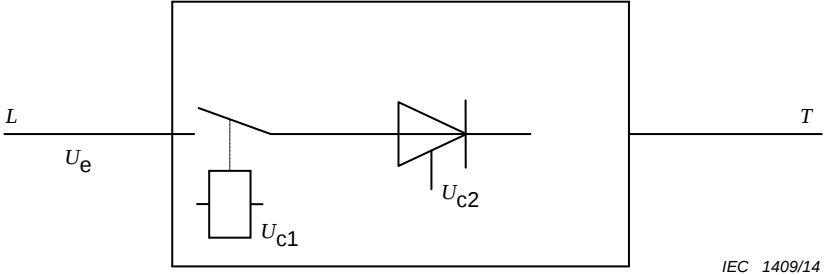
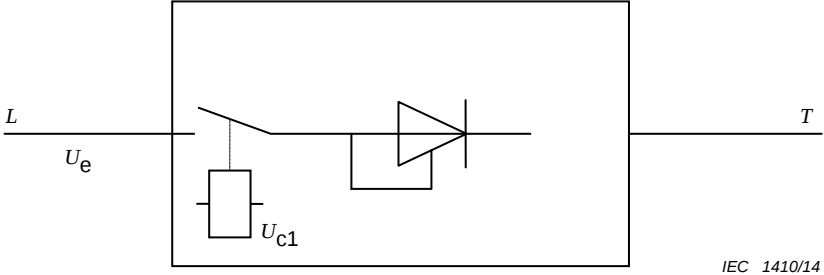
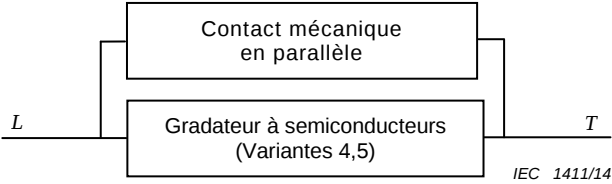
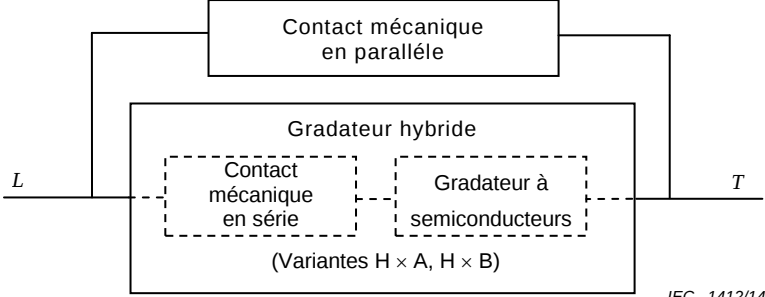
Appareil	
Gradateur (toutes variantes)	 IEC 1408/14
Gradateur hybride HxA ^a où x = 4 ou 5	 IEC 1409/14
Gradateur hybride HxB ^b où x = 4 ou 5	 IEC 1410/14
Gradateur à dérivation	 IEC 1411/14
Gradateur hybride à dérivation ^c	 IEC 1412/14
^a Deux commandes séparées pour le gradateur et l'appareil mécanique de connexion en série, respectivement. ^b Une commande seulement pour l'appareil mécanique de connexion en série. ^c Pour d'autres configurations, les essais peuvent être adaptés de façon appropriée par accord entre l'utilisateur et le constructeur.	

Figure 1 – Représentations graphiques des gradateurs

Tableau 1 – Fonctions possibles des gradateurs et contacteurs

Appareil	Variante 4	Variante 5
Gradateur à semiconducteurs	Etat bloqué Rampe croissante Commande de charge Etat de pleine conduction Rampe décroissante	Non disponible
Contacteur (DOL) à semiconducteurs	Non disponible	Etat bloqué Fonction de connexion Etat de pleine conduction
Gradateur hybride H_xA^a où $x = 4$ ou 5	H4A: – état ouvert – état bloqué – rampe croissante – commande de charge – état de pleine conduction – rampe décroissante	H5A: – état ouvert – état bloqué – fonction de connexion – état de pleine conduction
Gradateur hybride H_xB^b où $x = 4$ ou 5	H4B: – état ouvert – rampe croissante – commande de charge – état de pleine conduction – rampe décroissante	H5B: – état ouvert – fonction de connexion – état de pleine conduction
^a Deux commandes séparées pour les gradateurs et l'appareil mécanique de commutation en série, respectivement. ^b Une seule commande pour l'appareil mécanique de commutation en série.		

3.1.2 Gradateurs et contacteurs hybrides (voir Figure 1)

3.1.2.1

gradateurs hybrides de variante H_xA (où $x = 4$ ou 5)

contacteurs hybrides de variante H_xA (où $x = 4$ ou 5)

gradateur à semiconducteurs de variante 4 ou 5 en série avec un appareil mécanique de connexion en tant qu'unité

Note 1 à l'article: Des commandes séparées sont fournies pour l'appareil mécanique en série et le gradateur ou contacteur à semiconducteurs. Toutes les fonctions de commande adaptées à la variante du gradateur spécifié sont assurées avec en plus une position d'ouverture.

3.1.2.2

gradateurs hybrides variante H_xB (où $x = 4$ ou 5)

contacteurs hybrides variante H_xB (où $x = 4$ ou 5)

gradateur à semiconducteur de variante 4 ou 5 en série avec un appareil mécanique de connexion et dont les caractéristiques sont assignées comme pour un appareil unique

Note 1 à l'article: Une seule commande est prévue pour à la fois l'appareil mécanique de connexion et le gradateur ou le contacteur à semiconducteurs. Toutes les fonctions de commande correspondant à la variante du gradateur spécifié sont prévues à l'exception de l'état bloqué.

3.1.2.3

position d'ouverture

condition d'un gradateur hybride à semiconducteurs où l'appareil mécanique de connexion en série est dans la position d'ouverture

Note 1 à l'article: Voir 2.4.21 de l'IEC 60947-1:2007 pour la définition de position d'ouverture.

3.1.3

fonction de limitation de courant

aptitude d'un gradateur à limiter le courant de charge à une valeur spécifiée

Note 1 à l'article: Elle ne comprend pas l'aptitude à limiter le courant instantané dans les conditions de court-circuit.

3.1.4

commande de charge

tout fonctionnement intentionnel provoquant des changements dans la puissance effective disponible pour la charge au cours d'une variation

- du cycle de manœuvres imposé (c'est-à-dire une variation du facteur de marche F et/ou du nombre de cycles de manœuvres par heure S , voir 5.3.4.6)
- ou
- de la tension aux bornes de la charge (par exemple par une commande de l'angle de phase)
- ou
- d'une combinaison des deux possibilités citées précédemment

Note 1 à l'article: La connexion est une variante obligatoire de commande de charge qui est reconnue séparément.

Note 2 à l'article: La commande de charge peut être effectuée par un gradateur de variante 5 lorsqu'un appareil de connexion externe ou un circuit de commande provoque le changement cyclique d'état bloqué à l'état de pleine conduction et l'inverse (c'est-à-dire la commande de charge par cycle de manœuvre).

3.1.5

rampe croissante

fonction de commutation provoquant le changement de l'état bloqué (ou de l'état ouvert, dans le cas d'un gradateur hybride HxB) à l'état passant (c'est-à-dire à l'état de pleine conduction ou à une manœuvre de commande de charge) sur une période de temps définie (temps de croissance)

3.1.6

rampe décroissante

fonction de commutation provoquant le changement de l'état passant (c'est-à-dire de la pleine conduction ou de la manœuvre de commande de charge) à l'état bloqué (ou à l'état ouvert, dans le cas d'un gradateur hybride HxB) sur une période de temps définie (temps de rampe décroissante)

3.1.7

Disponible

3.1.8

Disponible

3.1.9

état passant

état d'un gradateur à semiconducteurs lorsque le courant de conduction peut passer par son circuit principal

3.1.10

pleine conduction

état d'un gradateur dont les fonctions de commande sont réglées pour alimenter la charge sous sa pleine tension

3.1.11

courant minimal de charge

courant minimal de fonctionnement du circuit principal nécessaire au fonctionnement correct d'un gradateur à semiconducteurs à l'état passant

Note 1 à l'article: Il convient d'indiquer la valeur efficace du courant minimal de charge.

3.1.11.1

détection du courant minimal de charge

aptitude du gradateur à détecter et à signaler que le courant de charge est inférieur à une valeur minimale spécifiée, signalement qui peut être obtenu par les états bloqué ou ouvert

3.1.12

état bloqué

état d'un gradateur lorsqu'aucun signal de commande n'est appliqué et qu'aucun courant de valeur supérieure à celle du courant de fuite à l'état bloqué ne passe par son circuit principal

3.1.13

courant de fuite à l'état bloqué

I_L

courant que laisse passer le circuit principal d'un contacteur à semiconducteurs à l'état bloqué

3.1.14

manœuvre

manœuvre d'un gradateur

passage de l'état passant à l'état bloqué ou l'inverse

3.1.14.1

fonction de commutation

fonction conçue pour établir et couper le courant pendant la manœuvre d'un gradateur

3.1.14.2

Disponible

3.1.14.3

fonction de commutation instantanée

fonction de commutation provoquant la transition instantanée de l'état passant (c'est-à-dire de l'état pleine conduction ou de la manœuvre de commande de charge) à l'état bloqué (ou l'état d'ouverture, dans le cas d'un gradateur hybride HxB) ou l'inverse

Note 1 à l'article: Dans le cas d'interruption, le terme «instantané» est utilisé pour indiquer le temps minimal d'ouverture (semblable à 2.5.39 de l'IEC 60947-1:2007).

Note 2 à l'article: Dans le cas d'établissement, le terme «instantané» est utilisé pour indiquer le temps de fermeture (voir 2.5.43 de l'IEC 60947-1:2007) plus le temps de transition déterminé seulement par l'impédance du circuit externe.

3.1.14.4

point de commutation

point sur la forme d'onde de la tension appliquée pour lequel le dispositif de commutation à semiconducteurs devient conducteur pendant une manœuvre de fermeture

Note 1 à l'article: La tension appliquée est définie en 2.5.32 de l'IEC 60947-1:2007.

3.1.14.4.1**commutation en un point défini****commutation en un point défini d'un gradateur à semiconducteurs**

aptitude d'un gradateur à semiconducteurs à permettre le passage du courant dans le circuit principal seulement à l'instant où la tension appliquée en courant alternatif ou alternativement la tension du circuit de commande en courant alternatif atteint un point spécifié sur sa forme d'onde

Note 1 à l'article: La tension appliquée est définie en 2.5.32 de l'IEC 60947-1:2007.

Note 2 à l'article: Cette forme de commutation optimisée peut être utilisée pour amortir le courant d'appel ou la «commutation douce» des transformateurs.

3.1.14.4.2**commutation au point zéro****commutation au point zéro d'un gradateur à semiconducteurs**

variante spéciale de commutation en un point défini applicable seulement dans le cas de gradateur unipolaire à charge autre que des moteurs

Note 1 à l'article: Transition de l'état bloqué à l'état passant après application du signal de commande de telle façon que le dispositif de commutation à semiconducteur devienne conducteur à l'instant où la tension appliquée en courant alternatif passe par zéro

Note 2 à l'article: La tension appliquée est définie en 2.5.32 de l'IEC 60947-1:2007.

Note 3 à l'article: Ce type de manœuvre convient particulièrement aux charges résistives et aux lampes à incandescence. Il convient de ne pas l'utiliser pour les charges inductives et capacitatives étant donné que l'écart angulaire entre le courant de charge et la tension de pilotage dans ces charges provoquerait des pointes de courant transitoire sévères.

3.1.14.4.3**commutation aléatoire****commutation aléatoire d'un gradateur à semiconducteurs**

absence de possibilité pour un gradateur à semiconducteurs de permettre le passage du courant à travers le circuit principal seulement à partir de l'instant où la tension appliquée en courant alternatif ou alternativement à la tension du circuit de commande en courant alternatif atteint un point spécifié sur sa forme d'onde

Note 1 à l'article: La tension appliquée est définie en 2.5.32 de l'IEC 60947-1:2007.

3.1.15**cycle de manœuvres****cycle de manœuvres d'un gradateur**

suite de manœuvres d'un état à un autre et retour au premier état

Note 1 à l'article: Une suite de manœuvres ne formant pas un cycle de manœuvres est appelée série de manœuvres.

3.1.16**aptitude au fonctionnement**

aptitude à effectuer une suite de cycles de manœuvre sans défaillance, dans des conditions spécifiées

3.1.17**profil de courant de surcharge**

coordonnées temps/courant précisant les valeurs des courants de surcharge pendant une certaine durée (voir 5.3.5.1)

3.1.18**index caractéristique**

informations relatives aux caractéristiques assignées présentées sous une forme prescrite associant le courant assigné d'emploi, la catégorie d'emploi, le profil de courant de surcharge et le cycle de service ou la durée à l'état non passant (voir 6.1 e))

3.1.19

manœuvre de déclenchement

manœuvre de déclenchement d'un gradateur

manœuvre pour établir et maintenir l'état bloqué (ou la position d'ouverture dans le cas d'un gradateur ou démarreur de variante HxB) déclenchée par un signal de commande

3.1.20

gradateur à déclenchement libre

gradateur qui établit et maintient la condition de l'état bloqué, qui ne peut pas être annihilée dans le cas d'une condition de déclenchement

Note 1 à l'article: Dans le cas de la variante HxB, le terme «condition à l'état bloqué» est remplacé par le terme «position d'ouverture».

3.1.21

moyens de protection contre les surcharges

moyens conduisant un dispositif de commutation à revenir à l'état bloqué ou en position ouverte avec ou sans retard lorsque le courant dépasse une valeur prédéterminée

3.1.22

durée à l'état passant

intervalle de temps pendant lequel le gradateur est en charge

Note 1 à l'article: Voir par exemple la Figure F.1.

3.1.23

durée à l'état bloqué

intervalle de temps pendant lequel le gradateur est à vide

Note 1 à l'article: Voir par exemple la Figure F.1.

3.1.24

gradateur à dérivation

matériel dans lequel les contacts principaux d'un appareil mécanique de connexion sont connectés en parallèle avec les bornes du circuit principal d'un appareil de connexion à semiconducteurs, et dont les dispositifs de commande des deux appareils de connexion sont coordonnés

3.2 Disponible

3.3 Symboles et abréviations

A_f	Température ambiante finale (9.3.3.3.4)
C_f	Température finale du boîtier (9.3.3.3.4)
CEM	Compatibilité électromagnétique
DPCC	Dispositif de protection contre les courts-circuits
EUT	Matériel en essai
I_c	Courant établi et coupé (Tableau 10)
I_e	Courant assigné d'emploi (5.3.2.3)
I_F	Courant de fuite après l'essai de capacité de blocage et d'aptitude à la commutation (9.3.3.6.4)
I_L	Courant de fuite à l'état bloqué (3.1.13)
I_0	Courant de fuite avant l'essai de capacité de blocage et d'aptitude à la commutation (9.3.3.6.4)
I_{th}	Courant thermique conventionnel à l'air libre (5.3.2.1)
I_{the}	Courant thermique conventionnel sous enveloppe (5.3.2.2)

I_u	Courant assigné ininterrompu (5.3.2.4)
U_c	Tension assignée du circuit de commande (5.5)
U_e	Tension assignée d'emploi (5.3.1.1)
U_i	Tension assignée d'isolement (5.3.1.2)
U_{imp}	Tension assignée de tenue aux chocs (5.3.1.3)
U_r	Tension de rétablissement à fréquence industrielle (Tableau 8)
U_s	Tension assignée d'alimentation du circuit de commande (5.5)

4 Classification

Toutes les indications qui peuvent servir aux critères de classification sont indiquées en 5.2.

5 Caractéristiques des gradateurs et contacteurs à semiconducteurs à courant alternatif

5.1 Énumération des caractéristiques

Les caractéristiques des gradateurs et contacteurs doivent, chaque fois que cela est possible, être indiquées de la façon suivante:

- type du matériel (voir 5.2);
- valeurs assignées et valeurs limites des circuits principaux (voir 5.3);
- catégorie d'emploi (voir 5.4);
- circuits de commande (voir 5.5);
- circuits auxiliaires (voir 5.6);
- types et caractéristiques des relais et des déclencheurs (à l'étude);
- coordination avec les dispositifs de protection contre les courts-circuits (voir 5.8).

5.2 Type du matériel

Ce qui suit doit être indiqué.

a) Variante du matériel

Variante de gradateurs et contacteurs (voir 3.1.1 et 3.1.2).

b) Nombre de pôles

- 1) Nombre de pôles principaux
- 2) Nombre de pôles principaux commandés par un élément à semiconducteurs

c) Nature du courant

Courant alternatif seulement.

d) Milieu de coupure (air, vide, etc.)

Applicable seulement aux dispositifs mécaniques de commutation des gradateurs et contacteurs hybrides.

e) Conditions de fonctionnement du matériel

- 1) Mode de fonctionnement

Par exemple:

- gradateur commandé symétriquement (par exemple semiconducteur commandé sur toutes les phases);
- gradateur non commandé symétriquement (par exemple thyristors et diodes).

2) Mode de commande

Par exemple:

- automatique (par auxiliaire automatique de commande ou commande séquentielle);
- non automatique (par exemple boutons-poussoirs);
- semi-automatique (c'est-à-dire partiellement automatique, partiellement non automatique).

3) Méthode de connexion

Par exemple (voir Figure 2):

- charge connectée en étoile, thyristors connectés entre la charge et l'alimentation;
- charge connectée en triangle, thyristors connectés entre la charge et l'alimentation;
- charge à une seule phase, thyristors connectés entre la charge et l'alimentation.

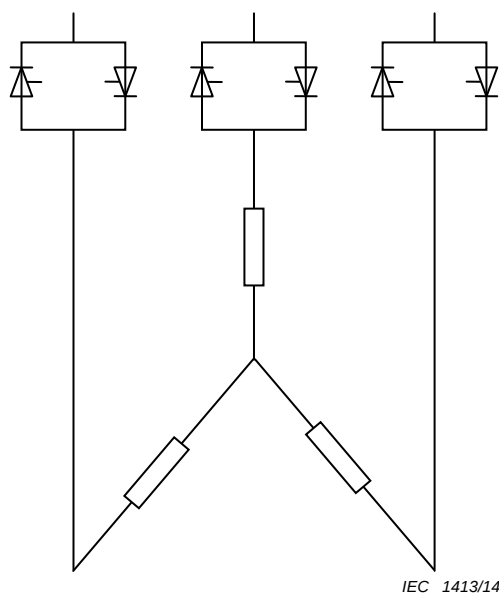


Figure 2a – Charge en étoile Thyristors entre charge et alimentation

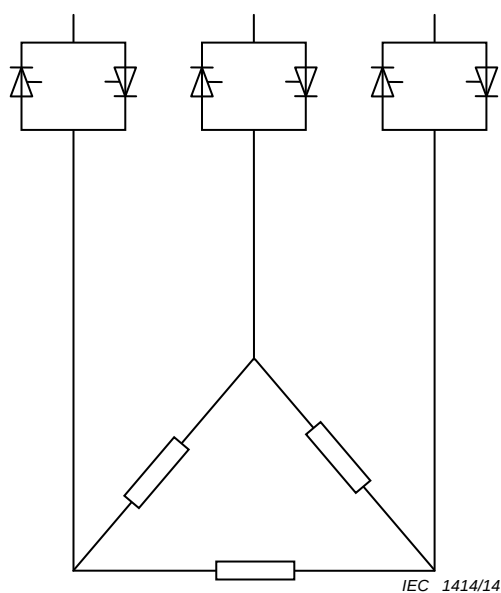


Figure 2b – Charge en triangle Thyristors entre charge et alimentation

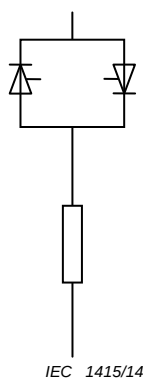


Figure 2c – Charge monophasée Thyristors entre charge et alimentation

Figure 2 – Méthodes de connexion

5.3 Valeurs assignées et valeurs limites des circuits principaux

Les valeurs assignées et les valeurs limites relatives aux gradateurs et aux contacteurs doivent être indiquées conformément aux 5.3.1 à 5.3.6, mais il peut ne pas être nécessaire de confirmer toutes les valeurs énumérées par des essais.

5.3.1 Tensions assignées

Un gradateur ou un contacteur est défini par les tensions assignées suivantes.

5.3.1.1 Tension assignée d'emploi (U_e)

Le 4.3.1.1 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec le complément suivant.

La caractéristique d'un matériel à courant alternatif doit comprendre le nombre de phases sauf pour le matériel manifestement destiné uniquement à un usage en monophasé pour lequel l'indication du nombre de phases n'est pas requis.

5.3.1.2 Tension assignée d'isolement (U_i)

Le 4.3.1.2 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

5.3.1.3 Tension assignée de tenue aux chocs (U_{imp})

Le 4.3.1.3 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

5.3.2 Courants

Un gradateur ou un contacteur est défini par les courants suivants.

5.3.2.1 Courant thermique conventionnel à l'air libre (I_{th})

Le 4.3.2.1 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

5.3.2.2 Courant thermique conventionnel sous enveloppe (I_{the})

Le 4.3.2.2 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

5.3.2.3 Courant assigné d'emploi (I_e)

Le courant assigné d'emploi I_e des gradateurs et des contacteurs est le courant normal de fonctionnement lorsque l'appareil est à l'état de pleine conduction, et tient compte de la tension assignée d'emploi (voir 5.3.1.1), de la fréquence assignée (voir 5.3.3), du service assigné (voir 5.3.4), de la catégorie d'emploi (voir 5.4), des caractéristiques de surcharge (voir 5.3.5 et du type d'enveloppe de protection, s'il y a lieu.

5.3.2.4 Courant assigné ininterrompu (I_u)

Le 4.3.2.4 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

5.3.3 Fréquence assignée

Le 4.3.3 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

5.3.4 Service assigné

5.3.4.1 Généralités

Les services assignés considérés comme normaux sont les suivants.

5.3.4.2 Service de 8 h

Service dans lequel le gradateur reste à l'état passant tout en étant parcouru par un courant constant pendant une durée assez longue pour atteindre l'équilibre thermique, mais ne dépassant pas 8 h sans interruption.

5.3.4.3 Service ininterrompu

Service dans lequel le gradateur reste en l'état passant tout en étant parcouru par un courant constant sans interruption pendant des durées supérieures à 8 h (des semaines, des mois ou même des années).

5.3.4.4 Service intermittent périodique ou service intermittent

Le 4.3.4.3 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique en modifiant comme suit le premier alinéa:

«Service comportant des périodes de fonctionnement en charge au cours desquelles le gradateur reste à l'état de pleine conduction (ou à l'état de charge contrôlée) et dont la relation avec les durées à vide est définie, chacune de ces durées étant trop courte pour permettre au matériel d'atteindre l'équilibre thermique.»

5.3.4.5 Service temporaire

Service dans lequel le gradateur à semiconducteurs reste à l'état de pleine conduction (ou à l'état de charge contrôlée) pendant des durées insuffisantes pour permettre au matériel d'atteindre l'équilibre thermique, les durées de fonctionnement en charge étant séparées par des durées à vide suffisantes pour rétablir l'égalité de la température avec celle du milieu de refroidissement. Les valeurs normalisées du service temporaire sont:

30 s, 1 min, 3 min, 10 min, 30 min, 60 min et 90 min.

5.3.4.6 Service périodique

Le 4.3.4.5 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

5.3.4.7 Valeurs et symboles du cycle de service

Dans le cadre de la présente norme, le cycle de service est exprimé par deux symboles, F et S . Ceux-ci décrivent le service et fixent aussi le délai de refroidissement à prévoir.

F est le rapport de la durée en charge à la durée totale, exprimé par un pourcentage.

Les valeurs préférentielles de F sont:

$F = 1 \%, 5 \%, 15 \%, 25 \%, 40 \%, 50 \%, 60 \%, 70 \%, 80 \%, 90 \%, 99 \%$.

S est le nombre de cycles de manœuvres par heure. Les valeurs préférentielles de S sont:

$S = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 20, 30, 40, 50, 60$ cycles de manœuvres par heure.

NOTE D'autres valeurs de F et/ou de S peuvent être déclarées par le constructeur.

5.3.5 Caractéristiques en conditions normales de charge et de surcharge

Le 4.3.5 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec les compléments suivants.

5.3.5.1 Profil du courant de surcharge

Le profil du courant de surcharge donne les coordonnées temps/courant pour les courants de surcharge contrôlés. Il est exprimé par deux symboles X et T_X .

X exprime le courant de surcharge comme un multiple de I_e choisi parmi la gamme de valeurs du Tableau 6 et représente la valeur maximale du courant de fonctionnement dans des conditions de surcharge.

Des surintensités voulues ne dépassant pas dix cycles de la fréquence du réseau qui peuvent dépasser les valeurs déclarées de $X \times I_e$ sont négligées pour le profil de courant de surcharge.

T_X exprime la somme des durées des courants de surcharge de fonctionnement au cours de la fonction de commutation (par exemple éléments de préchauffage des lampes à vapeurs métalliques) la commande de charge et le fonctionnement en régime établi. Voir Tableau 6.

5.3.5.2 Aptitude au fonctionnement

L'aptitude au fonctionnement exprime les aptitudes combinées

- de commutation du courant et de tenue au courant à l'état passant, et
- d'établissement et de maintien à l'état bloqué (blocage),

sous pleine tension dans des conditions de charge normale et de surcharge correspondant à la catégorie d'emploi, au profil de courant de surcharge et aux cycles de service spécifiés.

L'aptitude au fonctionnement est caractérisée par

- la tension assignée d'emploi (voir 5.3.1.1);
- le courant assigné d'emploi (voir 5.3.2.3);
- le service assigné (voir 5.3.4);
- le profil du courant de surcharge (voir 5.3.5.1);
- la catégorie d'emploi (voir 5.4).

Les exigences sont données en 8.2.4.1.

5.3.5.3 Caractéristiques de commutation, de rampe croissante, de rampe décroissante et de commande de charge

Les conditions représentatives de service des gradateurs et des contacteurs sont décrites à l'Annexe B.

5.3.6 Courant assigné de court-circuit conditionnel

Le 4.3.6.4 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

5.4 Catégories d'emploi

Le 4.4 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec les compléments suivants.

Pour les gradateurs et les contacteurs, les catégories d'emploi énumérées au Tableau 2 sont considérées comme normales. Tout autre type d'emploi doit reposer sur un accord entre le constructeur et l'utilisateur, mais les informations données dans le catalogue ou la soumission du constructeur peuvent constituer un tel accord.

Chaque catégorie d'emploi (voir Tableau 2) est caractérisée par les valeurs des courants, des tensions, des facteurs de puissance et des autres données des Tableaux 3, 4, 5 et 6 ainsi que par les conditions d'essai spécifiées dans la présente norme.

Le premier symbole d'identification de la catégorie d'emploi désigne un appareil de connexion à semiconducteurs (par exemple, dans le cadre de la présente norme, un gradateur ou un contacteur à semiconducteurs).

Le deuxième symbole désigne une application typique. Dans le cas, respectivement de AC-55 et AC-56, les suffixes «a» ou «b» servent à définir l'application de façon plus précise.

NOTE Par opposition à la convention utilisée dans l'IEC 60947-4-2 pour les démarreurs et gradateurs à semiconducteurs de moteur à courant alternatif, ces suffixes ne font pas référence à l'utilisation d'un appareil de connexion de court-circuitage.

5.4.1 Attribution des caractéristiques assignées suivant les résultats d'essais

Un gradateur ou un contacteur à semiconducteurs donné auquel a été attribuée une catégorie d'emploi vérifiée par des essais peut se voir assigner d'autres caractéristiques sans essai complémentaire pourvu que:

- le courant et la tension assignée d'emploi, vérifiés par des essais, ne soient pas inférieurs aux caractéristiques assignées sans essai;
- les exigences relatives à la catégorie d'emploi et au cycle de service pour la caractéristique assignée par essai doivent être égales à ou plus sévères que celles à assigner sans essai; les niveaux correspondants de sévérité figurent au Tableau 3;
- le profil du courant de surcharge pour la caractéristique assignée par essai doit être égal ou plus sévère que celui correspondant à la caractéristique à assigner sans essai, en correspondance avec les niveaux de sévérité relatifs du Tableau 3. Seules les valeurs de X inférieures à celles de X essayées peuvent être assignées sans essai.

Tableau 2 – Catégories d'emploi

Catégorie d'emploi	Application typique
AC-51	Charges non inductives ou faiblement inductives, résistance de four
AC-55a	Commutation de lampes à décharge électrique
AC-55b	Commutation de lampes à incandescence
AC-56a	Commutation de transformateurs
AC-56b	Commutation de batteries de condensateurs
NOTE 1 Un dispositif de court-circuitage du gradateur à semiconducteurs après obtention de la condition de pleine conduction peut être fourni. Celui-ci peut faire partie intégrante du contacteur à semiconducteurs ou être installé séparément.	
NOTE 2 Lorsque la catégorie d'emploi s'applique seulement en utilisant le court-circuitage comme décrit à la Note 1 ci-dessus, ceci est déclaré par le constructeur. Voir 6.1.	

Tableau 3 – Niveaux de sévérité relatifs

Niveau de sévérité	Catégorie d'emploi	Profil de courant de surcharge	Exigences temps état passant / état bloqué
Le plus sévère	AC-51 AC-55a AC-55b AC-56a AC-56b pour tous sans court-circuitage	Plus grande valeur de $(X \times I_e)^2 \times T_x$ (Note 1)	Plus grande valeur de $F \times S$ (Note 2)
	AC-55a seulement avec court-circuitage	Plus grande valeur de $(X \times I_e)^2 \times T_x$ (Note 1)	Plus petite valeur de temps à l'état bloqué (Note 3)
NOTE 1 Lorsque la valeur maximale de $(X \times I_e)^2 \times T_x$ survient pour plus d'une valeur de $X \times I_e$, la plus grande valeur $X \times I_e$ s'applique. NOTE 2 Lorsque la valeur maximale de $F \times S$ survient pour plus d'une valeur de S, la plus grande valeur de S s'applique. NOTE 3 Lorsque la valeur maximale de $(X \times I_e)^2 \times T_x$ survient pour plus d'une valeur de la durée à l'état bloqué, la valeur minimale de la durée à l'état bloqué s'applique.			

5.5 Circuits de commande

Le 4.5.1 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique avec les compléments suivants.

Les caractéristiques des circuits électroniques de commandes sont:

- type de courant;
- puissance consommée;
- fréquence assignée (ou courant continu);
- tension assignée du circuit de commande U_c (nature: alternatif ou continu);
- tension assignée d'alimentation du circuit de commande, U_s (nature: alternatif ou continu);
- nature des dispositifs du circuit de contrôle (contacts, capteurs).

NOTE Une distinction est faite entre la tension du circuit de commande U_c , qui est le signal de commande d'entrée, et la tension d'alimentation du circuit de commande, U_s , qui est la tension à appliquer pour alimenter les bornes d'alimentation de l'équipement du circuit de commande et qui peut être différente de U_c de par la présence de transformateurs, de redresseurs, de résistances incorporés, etc.

5.6 Circuits auxiliaires

Le 4.6 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec les compléments suivants.

Les circuits électroniques auxiliaires remplissent des fonctions utiles (par exemple surveillance, acquisition de données, etc.) qui ne relèvent pas nécessairement des processus directs d'obtention des caractéristiques.

Dans des conditions normales, les circuits auxiliaires sont caractérisés de la même façon que les circuits de commande et sont tributaires des mêmes exigences. Si les fonctions auxiliaires comprennent des caractéristiques inhabituelles de fonctionnement, il convient de demander au constructeur d'en définir les valeurs critiques.

Les entrées numériques et/ou les sorties numériques contenues dans les gradateurs et les contacteurs, et destinées à être compatibles avec les automates programmables, doivent satisfaire aux exigences de l'Annexe S de l'IEC 60947-1:2007.

5.7 Disponible

5.8 Coordination avec les dispositifs de protection contre les courts-circuits (DPCC)

Les gradateurs et les contacteurs sont définis par le type, les grandeurs assignées et les caractéristiques du DPCC à utiliser afin d'assurer une protection correcte du gradateur ou du contacteur contre les courants de court-circuit.

Les exigences sont données en 8.2.5 de la présente norme et en 4.8 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010).

6 Information sur le matériel

6.1 Nature des informations

Les informations suivantes doivent être données par le constructeur.

Identification

- a) le nom du constructeur ou sa marque de fabrique;
- b) la désignation du type ou le numéro de série;
- c) le numéro de la présente norme.

Caractéristique, valeurs assignées fondamentales et utilisation

- d) les tensions assignées d'emploi (voir 5.3.1.1);
- e) les courants assignés d'emploi correspondant à la catégorie d'emploi (voir 5.4), le profil du courant de surcharge (voir 5.3.5.1), le cycle de service (voir 5.3.4.6), ou la durée à l'état bloqué, comprenant l'index caractéristique.

La représentation exigée pour AC-51 est donnée en exemple:

100 A: AC-51: $1,5 \times I_e - 46$ s: 50 – 30

Cet exemple indique un courant assigné de 100 A pour des applications générales avec des charges non inductives ou faiblement inductives. L'appareil peut supporter un courant de 150 A pendant 46 s, un facteur de marche de 50 %, 30 cycles de manœuvres normales par heure.

Lorsque le courant de fonctionnement assigné s'applique seulement quand le gradateur est utilisé avec un court-circuitage, cela doit alors être indiqué par la forme prescrite suivante de l'index caractéristique, donné par exemple pour AC-55a:

100 A: AC-55a: $2 \times I_e - 30$ s: 180 s

Cela indique un courant assigné de 100 A pour la commutation sur commandes de lampe à décharge électrique. L'appareil peut supporter 200 A pendant 30 s, le temps à l'état bloqué ne doit pas être inférieur à 180 s avant de procéder à une nouvelle commutation.

- f) soit la valeur de la fréquence assignée 50 Hz/60 Hz, soit d'autres fréquences assignées, par exemple, 16 2/3 Hz, 400 Hz;
- g) indication des services assignés, s'il y a lieu (voir 5.3.4.3);
- h) désignation de la variante (par exemple variante, 4 ou variante H4A, voir Tableau 1).

Sécurité et installation

- j) la tension assignée d'isolement (voir 5.3.1.2);
- k) la tension assignée de tenue aux chocs (voir 5.3.1.3);
- l) le code IP, dans le cas de matériel sous enveloppe (voir 8.1.11);
- m) le degré de pollution (voir 7.1.3.2);
- n) le courant assigné de court-circuit conditionnel et le type de coordination du gradateur et le type, le courant assigné et les caractéristiques du DPCC associé (voir 5.8);
- p) disponible.

Circuits de commande

- q) la tension assignée du circuit de commande U_c , la nature du courant et la fréquence assignée et, si nécessaire la tension assignée d'alimentation de commande U_s , la nature du courant et la fréquence assignée et toutes informations nécessaires (par exemple exigence d'impédance d'adaptation) afin d'assurer un fonctionnement satisfaisant des circuits de commande (voir Annexe U de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) pour des exemples de configurations de circuit de commande);

Circuits auxiliaires

- r) la nature et les caractéristiques assignées des circuits auxiliaires (voir 5.6);

Dispositifs de protection contre les surintensités

- s) disponible.

Niveaux d'émission et d'immunité CEM

- t) la classe d'appareils et les exigences spécifiques à respecter (voir 8.3.2); Si un filtre CEM est nécessaire pour satisfaire aux niveaux d'émission tels que spécifiés par le Tableau 15, sa référence et ses caractéristiques décrites dans le 9.4.1.1. doivent être déclarées;
- u) les niveaux d'immunité obtenus et les exigences spécifiques à respecter (voir 8.3.3).

6.2 Marquage

Le 5.2 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique aux gradateurs et aux contacteurs avec les compléments suivants.

Les indications d) à u) fournies en 6.1 doivent figurer sur la plaque signalétique ou sur le matériel, ou sur les notices du constructeur.

Les indications c) et l) fournies en 6.1 doivent, de préférence, être marquées sur le matériel.

6.3 Instructions d'installation, de fonctionnement et d'entretien

Le 5.3 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec le complément suivant.

Pour les produits répondant aux dispositions de la présente norme, les points spécifiques suivants doivent être considérés:

- dans l'éventualité d'un court-circuit;
- dans l'éventualité d'un échauffement supérieur à 50 K de la surface du radiateur métallique de l'appareil.

7 Conditions normales de service, de montage et de transport

L'article 6 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec les exceptions suivantes.

7.1 Conditions normales de service

Le 6.1 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec les exceptions suivantes.

7.1.1 Température de l'air ambiant

La température de l'air ambiant n'excède pas +40 °C et sa moyenne, mesurée sur une période de 24 h, n'excède pas +35 °C.

La limite inférieure de la température de l'air ambiant est de 0 °C.

La température de l'air ambiant est celle qui existe au voisinage du matériel s'il est fourni sans enveloppe, ou au voisinage de l'enveloppe s'il est fourni avec une enveloppe.

NOTE Dans le cas des matériels prévus pour fonctionner dans des endroits où la température de l'air ambiant dépasse +40 °C (par exemple dans des ensembles d'appareillage et dans des forges, des chaufferies des pays tropicaux) ou est inférieure à 0 °C (par exemple –25 °C comme le prescrit la série IEC 61439 pour les ensembles d'appareillage à basse tension installés à l'extérieur), il convient de consulter le constructeur. Les renseignements figurant au catalogue du constructeur peuvent répondre à cette exigence.

7.1.2 Altitude

Le 6.1 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec la modification suivante.

L'altitude du lieu où le matériel est installé n'excède pas 1 000 m.

Pour les matériels destinés à être utilisés à des altitudes supérieures, il est nécessaire de tenir compte de la diminution de la rigidité diélectrique et du pouvoir réfrigérant de l'air. Il convient que le matériel électrique prévu pour fonctionner dans ces conditions soit construit ou utilisé conformément à un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

7.1.3 Conditions atmosphériques

7.1.3.1 Humidité

Le 6.1.3.1 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

7.1.3.2 Degrés de pollution

Sauf spécification contraire du constructeur, les gradateurs et les démarreurs sont destinés à être utilisés dans les conditions d'environnement du degré de pollution 3, définies en 6.1.3.2 de l'IEC 60947-1:2007. Toutefois, d'autres degrés de pollution peuvent s'appliquer, en fonction du micro-environnement.

7.1.4 Chocs et vibrations

Le 6.1.4 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

7.2 Conditions pendant le transport et le stockage

Le 6.2 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

7.3 Montage

Le 6.3 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique; pour ce qui concerne la CEM, voir 8.3 et 9.4 de la présente norme.

7.4 Perturbations du réseau électrique et influences

Pour ce qui concerne la CEM, voir 8.3 et 9.4.

8 Dispositions relatives à la construction et au fonctionnement

8.1 Dispositions constructives

8.1.1 Généralités

Le 7.1.1 de l'IEC 60947-1:2007 est applicable.

8.1.2 Matériaux

8.1.2.1 Exigences générales pour les matériaux

Le 7.1.2.1 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique.

8.1.2.2 Essai au fil incandescent

Le 7.1.2.2 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique avec le complément suivant.

Lorsque des essais sont effectués sur le matériel ou sur des parties prises sur le matériel, les pièces de matériau isolant nécessaires au maintien en position des parties conductrices doivent satisfaire à l'essai au fil incandescent de 8.2.1.1.1 de l'IEC 60947-1:2007 à une température d'essai de 850 °C.

8.1.2.3 Essai selon la catégorie d'inflammabilité

Le 7.1.2.3 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique.

8.1.3 Parties transportant le courant et leurs connexions

Le 7.1.3 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) est applicable.

8.1.4 Distances d'isolement et lignes de fuite

Le 7.1.4 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec la note suivante.

NOTE La nature même d'un semiconducteur le rend inadapté à une utilisation à des fins de sectionnement.

8.1.5 Organe de commande

Disponible

8.1.6 Indication de la position des contacts

Disponible

8.1.7 Exigences supplémentaires pour les matériels aptes au sectionnement

Disponible

8.1.8 Bornes

Le 7.1.8 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique avec, cependant, les exigences additionnelles suivantes.

8.1.8.4 Identification et marquage des bornes

Le 7.1.8.4 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique, avec les exigences complémentaires de l'Annexe A.

8.1.9 Exigences supplémentaires pour les matériels dotés d'un pôle neutre

Disponible

8.1.10 Dispositions pour assurer la mise à la terre de protection

Le 7.1.10 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) est applicable.

8.1.11 Enveloppes pour matériels

Le 7.1.11 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique.

8.1.12 Degrés de protection du matériel sous enveloppe

Le 7.1.12 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique.

8.1.13 Traction, torsion et flexion avec des conduits métalliques

Le 7.1.13 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique.

8.2 Dispositions relatives au fonctionnement

8.2.1 Conditions de fonctionnement

8.2.1.1 Généralités

Les appareils auxiliaires utilisés dans les gradateurs et les contacteurs doivent être manœuvrés suivant les instructions du constructeur et suivant la norme de matériel correspondante.

8.2.1.1.1 Les gradateurs et les contacteurs doivent être construits de façon à

- a) être à déclenchement libre (voir 3.1.20);
- b) être susceptibles de revenir à l'état ouvert ou bloqué par les moyens prévus lorsqu'ils sont en fonctionnement et à tout instant de l'état bloqué à l'état passant ou pendant l'état à pleine conduction.

La conformité est vérifiée selon 9.3.3.6.4.

8.2.1.1.3 Les gradateurs et les contacteurs ne doivent pas présenter de mauvais fonctionnement sous l'effet de chocs mécaniques ou sous l'effet de perturbations électromagnétiques causés par le fonctionnement de leurs appareils internes.

La conformité est vérifiée selon 9.3.3.6.4.

8.2.1.1.4 Les contacts mobiles des appareils mécaniques en série dans les gradateurs et contacteurs hybrides doivent être couplés mécaniquement afin que tous les pôles ferment et ouvrent pratiquement ensemble lorsqu'ils sont commandés manuellement ou automatiquement.

8.2.1.2 Limites de fonctionnement des gradateurs

Les gradateurs et les contacteurs doivent fonctionner de façon satisfaisante à toute tension comprise entre 85 % et 110 % de leur tension assignée d'emploi U_e et de leur tension assignée de commande U_s , lorsqu'ils sont essayés selon 9.3.3.6.4. Lorsqu'un domaine de tension est annoncé, 85 % doit s'appliquer à la valeur la plus basse et 110 % à la valeur la plus élevée.

8.2.1.3 Relais et déclencheurs associés aux gradateurs

Les relais et les déclencheurs à associer à un gradateur pour assurer la protection de la charge doivent fonctionner pendant une durée T_x , à un courant $X \times I_e$ où X et T_x sont les valeurs données par l'index caractéristique déclaré. Dans le cas où il existe plus d'un index caractéristique, X et T_x sont les valeurs correspondant à l'index pour lequel le produit $(X \times I_e)^2 \times T_x$ est le plus grand.

8.2.1.4 Disponible

8.2.1.5 Disponible

8.2.1.5.1 Disponible

8.2.1.5.2 Disponible

8.2.1.6 Composants des gradateurs à dérivation ayant subi des essais de type

8.2.1.6.1 Les appareils de connexion qui satisfont aux exigences de leur propre norme de produit doivent être considérés comme des appareils ayant partiellement subi des essais de type et sont soumis aux exigences complémentaires suivantes:

- a) les échauffements des appareils mécaniques de connexion doivent satisfaire à 8.2.2;
- b) les pouvoirs de fermeture et de coupure des appareils mécaniques de connexion doivent satisfaire à 8.2.4.2;
- c) les dispositifs de connexion à semiconducteurs doivent satisfaire à 8.2.4.1 pour la catégorie d'emploi correspondant aux caractéristiques prévues des gradateurs à dérivation.

8.2.1.6.2 Dans le but d'établir les exigences des gradateurs à dérivation, les appareils de connexion qui satisfont à toutes les exigences de 8.2.1.6.1 doivent, avant d'être installés, être identifiés comme des composants ayant subi des essais de type pouvant être utilisés sans restriction dans un gradateur à dérivation (voir Annexe J).

8.2.1.7 Composants dépendants dans les gradateurs à dérivation

Dans le but d'établir les exigences pour les gradateurs à dérivation, les appareils de connexion qui ne satisfont pas à toutes les exigences de 8.2.1.6.1 doivent, avant d'être installés, être identifiés comme des composants dépendants et ne pouvant être utilisés dans un gradateur à dérivation que sous certaines restrictions (voir Annexe J).

8.2.1.8 Utilisation sans restriction des appareils de connexion dans les gradateurs à dérivation

Lorsque à la fois l'appareil mécanique de connexion et l'appareil de connexion à semiconducteurs sont identifiés comme des appareils ayant subi des essais de type, ils doivent être mis en œuvre et connectés pour répondre aux valeurs assignées, au service assigné et à l'utilisation prévue par le constructeur. Il ne doit pas y avoir d'autres restrictions.

8.2.1.9 Utilisation limitée des appareils de connexion dans les gradateurs à dérivation

Lorsque soit l'un soit les deux appareils de connexion sont identifiés comme des composants dépendants, les appareils de connexion doivent satisfaire à ce qui suit:

- a) les appareils de connexion doivent être combinés, avoir leurs caractéristiques assignées et être essayés comme pour un ensemble;
- b) les appareils de connexion doivent être interverrouillés par un des moyens suivants, soit individuellement soit par combinaison: moyens électrique, électronique ou mécanique, de telle manière que les contacts mécaniques de connexion ne doivent pas être sollicités pour établir ou couper des courants de surcharge sans l'intervention directe de l'appareil de connexion à semiconducteurs;
- c) l'appareil de connexion à semiconducteurs doit pouvoir prendre le contrôle de la commande du courant traversant le circuit principal chaque fois qu'il est nécessaire d'établir ou de couper des courants de surcharge.

8.2.2 Echauffement

Les exigences du 7.2.2 de l'IEC 60947-1:2007 s'appliquent aux gradateurs et contacteurs propres et neufs.

NOTE La résistance de contact due à l'oxydation peut influencer l'essai d'échauffement effectué sous des tensions d'essai inférieures à 100 V. Dans le cas de l'essai effectué sous une tension inférieure à 100 V, il est permis de nettoyer les contacts des appareils mécaniques de connexion soit par toute méthode non abrasive soit en effectuant plusieurs fois des cycles de manœuvres avec ou sans courant avant d'effectuer l'essai à n'importe quelle tension.

Des écarts d'échauffement sur la surface du radiateur métallique des appareils à semiconducteurs sont autorisés: 50 K dans le cas où ils n'ont pas besoin d'être touchés pendant le fonctionnement normal.

Si la limite de 50 K est dépassée, le constructeur doit fournir un avertissement approprié (par exemple le symbole IEC 60417-5041 (2002-10))¹⁾ conformément à 6.3. Le choix de la protection appropriée et de l'emplacement afin de prévenir les dangers est de la responsabilité de l'installateur.

8.2.2.1 Disponible

8.2.2.2 Disponible

8.2.2.3 Disponible

8.2.2.4 Circuit principal

8.2.2.4.1 Généralités

Le circuit principal d'un gradateur ou d'un contacteur, parcouru par du courant à l'état de pleine conduction, doit pouvoir supporter, sans dépasser les limites d'échauffement spécifiées en 7.2.2.1 de l'IEC 60947-1:2007 lorsqu'il est essayé conformément à 9.3.3.3.4,

- dans le cas d'un gradateur ou d'un contacteur prévu pour un service de 8 h: son courant thermique conventionnel (voir 5.3.2.1 et/ou 5.3.2.2);
- dans le cas d'un gradateur ou d'un contacteur prévu pour un service ininterrompu, un service intermittent ou un service temporaire: le courant assigné d'emploi correspondant (voir 5.3.2.3).

¹⁾ CEI 60417, Symboles graphiques utilisables sur le matériel

8.2.2.4.2 Appareil mécanique de connexion en série des gradateurs hybrides

Pour les gradateurs hybrides, l'échauffement des composants en série dans le circuit principal doit être vérifié selon les procédures données en 9.3.3.3.4 et 9.3.3.6.2 (voir Tableau 13).

8.2.2.4.3 Appareils mécaniques de connexion en parallèle des gradateurs à dérivation

Les appareils identifiés comme des composants ayant subi des essais de type (voir 8.2.1.6) doivent pouvoir supporter le courant I_e sans que les échauffements dépassent les limites spécifiées en 7.2.2.1 de l'IEC 60947-1:2007.

Pour les appareils identifiés comme des composants dépendants (voir 8.2.1.7), l'échauffement doit être vérifié selon les procédures données en 9.3.3.3.4 et 9.3.3.6.2 (y compris le Tableau 7 et le Tableau 13). L'appareil doit être essayé comme une partie intégrante de l'ensemble où les périodes en charge prescrites pour les deux appareils de connexion (Tableau 7) doivent être déterminées par une séquence de manœuvres qui est la même que celle prévue en service normal.

8.2.2.4.4 Appareils de commutation à semiconducteurs connectés dans le circuit principal

L'échauffement des appareils de commutation à semiconducteurs connectés dans le circuit principal doit être vérifié selon les procédures données en 9.3.3.3.4 et en 9.3.3.6.2 (essai de stabilité thermique).

8.2.2.5 Circuits de commande

Le 7.2.2.5 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

8.2.2.6 Enroulements des bobines et des électro-aimants

8.2.2.6.1 Enroulements pour service ininterrompu et service de 8 h

Le circuit de dérivation étant parcouru par un courant égal à la valeur maximale du courant, les enroulements des bobines doivent supporter en régime continu et à la fréquence assignée, s'il y a lieu, la tension assignée maximale d'alimentation de commande sans que l'échauffement ne dépasse les limites spécifiées au Tableau 4 et en 7.2.2.2 de l'IEC 60947-1:2007.

NOTE Les limites d'échauffement données au Tableau 4 et en 7.2.2.2 de l'IEC 60947-1:2007 sont applicables seulement si la température de l'air ambiant reste dans les limites -5 °C , $+40\text{ °C}$.

8.2.2.6.2 Enroulements pour service intermittent

Le circuit de dérivation n'étant parcouru par aucun courant, les enroulements des bobines doivent supporter à la fréquence assignée, s'il y a lieu, leur tension assignée maximale d'alimentation de commande comme indiqué au Tableau 5, suivant leur classe de service intermittent, sans que l'échauffement ne dépasse les limites spécifiées au Tableau 4 et en 7.2.2.2 de l'IEC 60947-1:2007.

NOTE Les limites d'échauffement données au Tableau 4 et en 7.2.2.2 de l'IEC 60947-1:2007 sont applicables seulement si la température de l'air ambiant reste dans les limites -5 °C , $+40\text{ °C}$.

8.2.2.6.3 Enroulements spéciaux (pour service temporaire ou périodique)

Les enroulements spéciaux doivent être essayés dans les conditions de fonctionnement correspondant au service le plus sévère auquel ils sont destinés, et leurs caractéristiques assignées doivent être précisées par le constructeur.

NOTE Les enroulements spéciaux peuvent être des bobines de contacteurs ou de gradateurs qui ne sont sous tension que durant la période de démarrage, des bobines de déclenchement de contacteurs à accrochage et des bobines d'électrovalves destinées au verrouillage de contacteurs pneumatiques.

Tableau 4 – Limites d'échauffement pour les bobines isolées dans l'air et dans l'huile

Classe des matériaux isolants (selon l'IEC 60085)	Limite d'échauffement (mesures effectuées par variation de résistance) K	
	Bobines dans l'air	Bobines dans l'huile
A	85	60
E	100	60
B	110	60
F	135	–
H	160	–

Tableau 5 – Données pour les cycles d'essai de service intermittent

Classe de service intermittent	Un cycle de manœuvre de fermeture-ouverture toutes les	Durée de maintien de l'alimentation de la bobine de commande
1	3 600 s	Il convient que le temps de passage du courant corresponde au facteur de marche spécifié par le constructeur
3	1 200 s	
12	300 s	
30	120 s	
120	30 s	
300	12 s	
1 200	3 s	

8.2.2.7 Circuits auxiliaires

Le 7.2.2.7 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

8.2.2.8 Autres parties

Le 7.2.2.8 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique en remplaçant les termes "plastiques et les matériaux isolants" par "parties isolantes".

8.2.3 Propriétés diélectriques

Les exigences suivantes sont basées sur le principe de la série des IEC 60664 et fournissent les moyens pour assurer la coordination de l'isolement du matériel avec les conditions d'installation.

Le matériel doit être capable de supporter

- la tension assignée de tenue aux ondes de choc (voir 5.3.1.3) selon la catégorie de surtension donnée dans l'Annexe H de l'IEC 60947-1:2007;
- la tension de tenue aux ondes de choc à travers les contacts des appareils aptes au sectionnement, comme elle est donnée dans le Tableau 14 de l'IEC 60947-1:2007;
- la tension de tenue à fréquence industrielle.

NOTE 1 Une tension en courant continu peut être utilisée pourvu que sa valeur ne soit pas inférieure à la valeur de la tension de crête d'essai alternative.

NOTE 2 La corrélation entre la tension nominale du réseau d'alimentation et la tension assignée de tenue aux ondes de choc du matériel est donnée dans l'Annexe H de l'IEC 60947-1:2007.

La tension assignée de tenue aux ondes de choc pour une tension de fonctionnement assignée donnée (voir Notes 1 et 2 de 4.3.1.1 de l'IEC 60947-1:2007) ne doit pas être inférieure à celle correspondant, dans l'Annexe H de l'IEC 60947-1:2007, à la tension nominale du réseau d'alimentation du circuit à l'endroit où le matériel est utilisé, et à la catégorie de surtension appropriée.

Les exigences de ce paragraphe doivent être vérifiées par les essais de 9.3.3.4.

8.2.3.1 Tension de tenue aux ondes de choc

1) Circuit principal

Le 7.2.3.1 1) de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

2) Circuits auxiliaires et circuits de commande

Le 7.2.3.1 2) de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec 2) a) modifié comme suit:

- a) Pour les circuits auxiliaires et les circuits de commande qui sont directement alimentés à partir du circuit principal à la tension assignée d'emploi, les distances d'isolement entre les parties actives et les parties destinées à être reliées à la terre, ainsi que les distances entre les pôles doivent supporter la tension d'essai donnée au Tableau 12 de l'IEC 60947-1:2007 en fonction de la tension assignée de tenue aux chocs.

NOTE L'isolation solide du matériel associée aux distances d'isolement est soumise à la tension de tenue aux chocs.

8.2.3.2 Tension de tenue à la fréquence industrielle des circuits principaux, auxiliaires et de commande

Le 7.2.3.2 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

8.2.3.3 Distances d'isolement

Le 7.2.3.3 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

8.2.3.4 Lignes de fuite

Le 7.2.3.4 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

8.2.3.5 Isolation solide

Le 7.2.3.5 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

8.2.3.6 Espacements entre circuits distincts

Le 7.2.3.6 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

8.2.4 Exigences de fonctionnement dans des conditions normales de charge et de surcharge

Les exigences relatives aux caractéristiques normales de charge et de surcharge conformes à 5.3.5 sont données en 8.2.4.1 et 8.2.4.2.

8.2.4.1 Exigences d'aptitude au fonctionnement

Les gradateurs et les contacteurs doivent être amenés à établir l'état passant à commuter, à supporter les niveaux définis de courants de charge et, si applicable, de surcharge, et à établir et maintenir l'état bloqué sans défaillance ou sans défaut quelconque lorsqu'ils sont essayés conformément à 9.3.3.6.

Pour les gradateurs et les contacteurs prévus pour les catégories d'emploi AC-51, -55a, -55b, -56a, -56b et prévus pour usage **sans** court-circuitage, les valeurs de T_x correspondant aux valeurs X ne doivent pas être inférieures à celles données au Tableau 6.

Les gradateurs et les contacteurs prévus pour la catégorie d'emploi AC-55a et prévus pour usage **avec** court-circuitage doivent être capables de s'adapter aux applications où des temps longs de fermeture à des courants supérieurs au courant assigné permanent sont requis (par exemple allumage de lampes avec des temps de préchauffage). Il doit être compris que la capacité thermique maximale du gradateur peut être totalement épuisée pendant la période en charge. En conséquence, un intervalle de temps convenable sans charge (par exemple un moyen de court-circuitage) doit être accordé au gradateur immédiatement après la période en charge. Les valeurs de T_x et la correspondance pour les valeurs X ainsi que l'intervalle minimal de temps sans charge doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur et doit être déclaré dans l'index caractéristique utilisant le format prescrit (voir 6.1).

Les caractéristiques doivent être vérifiées selon les conditions données au Tableau 7 et au Tableau 8 et dans les parties correspondantes de 8.3.3.5.2 et 8.3.3.5.3 de l'IEC 60947-1:2007.

Lorsque $X \times I_e$ est supérieur à 1 000 A, la vérification de l'aptitude aux surcharges doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur (par exemple par modèle sur ordinateur).

Aux Tableaux 7 et 8, le cycle de service pour les catégories d'emploi AC-51, -55a, -55b, -56a, -56b, tous sans court-circuitage ($F - S = 50 - 1$), et le temps à l'état bloqué pour les catégories d'emploi AC-55a avec court-circuitage (temps à l'état bloqué = 1 440 s) sont les exigences les moins sévères pour un cycle de service de 8 h. Le constructeur peut déclarer satisfaire à un cycle de service plus sévère et dans ce cas, il doit effectuer un essai pour le cycle de service le plus sévère en accord avec le Tableau 3.

Pour les catégories d'utilisation AC-51, -55a, -55b, -56a, -56b sans court-circuitage, des valeurs d'essai plus sévères pour le temps à l'état passant et le temps à l'état bloqué peuvent être calculées par:

$$\text{temps à l'état passant (s)} = 36 F/S$$

$$\text{temps à l'état bloqué (s)} = 36 (100 - F)/S$$

Pour les catégories d'emploi AC-55a avec court-circuitage, le constructeur peut déclarer être apte à effectuer les cycles de manœuvres de démarrage avec des temps à l'état bloqué qui sont inférieurs aux 1 440 s permises comme normales. Cependant, cela doit être vérifié en faisant un essai avec le temps à l'état bloqué déclaré par le constructeur.

Pour les gradateurs et les contacteurs prévus pour cycle de service intermittent, temporaire ou périodique, le constructeur doit choisir parmi les rangs pour F et S donnés en 5.3.4.6.

Tableau 6 – Durée minimale (T_x) de tenue au courant de surcharge en fonction du rapport (X) du courant de surcharge

	$T_x = 20 \text{ ms}$	$T_x = 200 \text{ ms}$	$T_x = 1 \text{ s}$	$T_x = 10 \text{ s}$	$T_x = 60 \text{ s}$	$T_x = 300 \text{ s}$	Continu
AC-51	$X = 1,4$	$X = 1,4$	$X = 1,4$	$X = 1,2$	$X = 1,1$	$X = 1$	$X = 1$
AC-55a	$X = 10$	$X = 6$	$X = 4$	$X = 3$	$X = 2$	$X = 1,8$	$X = 1$
AC-55b	$X = 10$	$X = 6$	$X = 1,2$	$X = 1,1$	$X = 1$	$X = 1$	$X = 1$
AC-56a	$X = 30$	$X = 6$	$X = 1,2$	$X = 1,1$	$X = 1$	$X = 1$	$X = 1$
AC-56b	$X = 30$	$X = 1,4$	$X = 1,1$	$X = 1$	$X = 1$	$X = 1$	$X = 1$

Tableau 7 – Exigences minimales pour les conditions d'essai de stabilité thermique

Catégorie d'emploi	Variante de gradateur	Courant d'essai (I_T) Durée à l'état passant du cycle de manœuvres s		Cycle de fonction ^a
		Niveau d'essai		Durée à l'état bloqué s
Sans court-circuitage		I_T	Durée à l'état passant s	
AC-51	4, H4 5, H5	$X \times I_e$	T_x	T_x
AC-55a				
AC-55b				
AC-56a				
AC-56b				
Avec court-circuitage		I_T	Durée à l'état passant s	
AC-55a	4, H4 5, H5	$3 \times I_e$	240	$\leq 1\ 440$
Paramètres du circuit d'essai:				
I_e = courant assigné d'emploi				
I_T = courant d'essai				
U_T = tension d'essai (peut prendre n'importe quelle valeur)				
Cos φ = facteur de puissance du circuit d'essai (peut prendre n'importe quelle valeur)				
nombre de cycles de manœuvres ^a				
^a Le nombre de cycles de manœuvres dépend de la durée nécessaire pour que le gradateur atteigne son équilibre thermique.				

Tableau 8 – Exigences minimales pour les conditions d'essai de tenue aux surcharges

Catégorie d'emploi	Paramètres du circuit d'essai			Cycle de fonction ^d Durée à l'état passant s	Cycle de fonction ^d Durée à l'état bloqué s	Nombre de cycles de manœuvres
	I_c/I_e	U_r/U_e ^a	$\cos \varphi$ ^b			
AC-51	X	1,1	0,8	T_x ^c	≥ 10	5
AC-55a	3,0	1,1	0,45	0,05	≥ 10	5
AC-55b	1,5	1,1	^e	0,05	60	50
AC-56a	30	1,1	≤ 1	0,05	≥ 10	5
AC-56b	^g	1,1	^f	0,05	≥ 10	1 000
I_c = courant d'essai I_e = courant assigné d'emploi U_e = tension assignée d'emploi U_r = tension de rétablissement à fréquence industrielle						
<i>Conditions de température</i> La température initiale du boîtier C_i, pour chaque essai, ne doit pas être inférieure à 40 °C plus l'échauffement maximal du boîtier pendant l'essai d'échauffement (9.3.3.3) ou en variante, la température du boîtier correspondant aux exigences minimales respectives pour la condition d'essai de stabilité thermique (Tableau 7). Pendant l'essai, la température ambiante de l'air doit être comprise entre +10 °C et +40 °C.						
^a U_r/U_e peut prendre n'importe quelle valeur pendant la séquence d'essai sauf pour les trois dernières périodes pleines de la fréquence industrielle à l'état passant, plus la première seconde à l'état bloqué. ^b $\cos \varphi$ peut avoir n'importe quelle valeur pendant les durées sous tension réduite. ^c Voir Tableau 6. ^d Le temps de commutation ne doit pas être supérieur à trois périodes pleines de la fréquence industrielle. ^e Essais à effectuer avec une charge de lampe à incandescence. ^f Essais à effectuer avec une charge capacitive. ^g Les caractéristiques capacitatives peuvent être dérivées des essais de commutation de capacité ou assignées sur la base de pratique et d'expérience établies. Comme guide, la référence peut être la formule $I_{pmax} \leq I_{TSM} \sqrt{2}$ où I_{pmax} est le courant de crête d'appel d'un condensateur et I_{TSM} est l'onde non répétitive sur le courant.						

Tableau 9 – Exigences minimales et conditions pour les essais de fonctionnement, y compris l'aptitude au blocage et à la commutation

Catégorie d'emploi	Paramètres de la charge d'essai du circuit d'essai			Cycles d'essai	
	U/U_e	Puissance	$\cos \varphi$	Durée à l'état passant s	Durée à l'état bloqué s
AC-51	1,0	a	0,81,0	0,5	0,5
AC-55a	1,0	b	0,45	0,5	0,5
AC-55b	1,0	c	c	f	0,5
AC-56a	1,0	d	$\leq 0,45$	f	g
AC-56b	1,0	e	e	f	h

Les essais suivants doivent être effectués:

- essai 1: 100 cycles de manœuvres avec 85 % U_e et 85 % U_s ;
- essai 2: 1 000 cycles de manœuvres avec 110 % U_e et 110 % U_s .

Pendant les essais:

- la charge et l'air ambiant peuvent être à n'importe quelle température entre 10 °C et 40 °C;
- le dispositif de mesure de la tension efficace vraie doit être connecté entre la borne côté source et la borne côté charge sur chaque pôle de l'EUT;
- les réglages sont limités seulement aux moyens de réglages externes fournis par le constructeur sur le produit normal présenté. Les gradateurs équipés avec des rampes croissantes doivent être réglés à la plus petite des valeurs suivantes: temps maximal de montée ou 10 s.

Résultats à obtenir:

- 1a) ou 1b) doit être satisfait
 - 1a) $I_O < 1 \text{ mA}$ et $I_F < 1 \text{ mA}$
 - 1b) si $I_O > 1 \text{ mA}$ ou $I_F > 1 \text{ mA}$, alors:
 - $\Delta I < 1$ pour chaque pôle où $\Delta I = (I_F - I_O) / I_O$
 - et
 - I_O et I_F doivent être dans les limites indiquées dans les caractéristiques du semiconducteur.
- 2) Aucune trace visuelle de dommage (c'est-à-dire fumée, décoloration).
- 3) Pas de perte de fonctionnalité comme spécifiée par le constructeur.

- a La charge d'essai doit être toute charge légèrement inductive commode.
- b La charge d'essai doit être toute charge inductive commode.
- c La charge d'essai doit être toute lampe à incandescence commode.
- d La charge d'essai doit être tout transformateur commode.
- e La charge d'essai doit être tout condensateur ou batterie de condensateurs commode.
- f La durée à l'état passant doit être supérieure au temps nécessaire pour atteindre le courant nominal en régime établi.
- g La durée à l'état bloqué est le temps nécessaire pour que le courant devienne inférieur à 10 % de la valeur nominale du courant à l'état passant.
- h La durée à l'état bloqué est le temps nécessaire pour que la tension aux bornes du condensateur devienne inférieure à 10 % de tension nominale due à la décharge du condensateur à travers toute résistance de décharge convenable.

8.2.4.2 Pouvoirs de fermeture et de coupure des appareils de connexion dans le circuit principal

8.2.4.2.1 Généralités

Le gradateur ou le contacteur, y compris les appareils mécaniques de connexion qui lui sont associés, doivent pouvoir fonctionner sans défaillance en présence d'un courant de surcharge.

L'aptitude à établir et couper des courants sans défaillance doit être vérifiée dans les conditions spécifiées à la fois au Tableau 10 et au Tableau 11, pour les catégories d'emploi et le nombre de manœuvres indiqués.

Tableau 10 – Essai de fermeture et de coupure – Conditions d'établissement et de coupure selon les catégories d'emploi pour les dispositifs mécaniques de connexion de gradateur et contacteur hybride H4, H5

Catégorie d'emploi	Conditions d'établissement et de coupure					
	I_c/I_e	U_r/U_e	Cos φ	Durée à l'état passant s	Durée à l'état bloqué s	Nombre de cycles de manœuvres
AC-51	1,5	1,05	0,80	0,05	a	50
AC-55a	3,0		0,45			
AC-55b	1,5 ^b		b			
AC-56a	30		c			
AC-56b	d		d			
I_c = courant établi et coupé, exprimé en valeur efficace symétrique, en courant alternatif I_e = courant assigné d'emploi U_e = tension assignée d'emploi U_r = tension de rétablissement à fréquence industrielle.			Courant I_c A		Durée à l'état bloqué s	
^a La durée à l'état bloqué ne doit pas être supérieure aux valeurs données ci-contre. ^b Essais à effectuer avec une lampe à incandescence. ^c I_c crête = $30 \times I_e \sqrt{2}$ Cos φ préférentiel: ≤ 0,45 ^d Les caractéristiques capacitives peuvent être dérivées des essais de commutation de condensateur ou assignées sur la base de la pratique établie et de l'expérience.			$I_c \leq 100$		10	
			$100 < I_c \leq 200$		20	
			$200 < I_c \leq 300$		30	
			$300 < I_c \leq 400$		40	
			$400 < I_c \leq 600$		60	
			$600 < I_c \leq 800$		80	
			$800 < I_c \leq 1\,000$		100	
			$1\,000 < I_c \leq 1\,300$		140	
			$1\,300 < I_c \leq 1\,600$		180	
			$1\,600 < I_c$		240	

Tableau 11 – Essai de fonctionnement conventionnel – Conditions d'établissement et de coupure selon les catégories d'emploi pour les dispositifs mécaniques de connexion des gradateurs et contacteurs H4B, H5B

Catégorie d'emploi	Conditions d'établissement et de coupure					
	I_c/I_e	U_r/U_e	Cos φ	Durée à l'état passant s	Durée à l'état bloqué s	Nombre de cycles de manœuvres
AC-51	1,0	1,05	0,80	0,05	a	6 000 ^d
AC-55a	2,0		0,45		a	
AC-55b	1,0 ^b		b		60	
AC-56a	c		c			
AC-56b	c		c			
I_c = courant établi et coupé, exprimé en valeur efficace symétrique, en courant alternatif						
I_e = courant assigné d'emploi						
U_e = tension assignée d'emploi						
U_r = tension de rétablissement à fréquence industrielle						
a Les durées à l'état bloqué ne doivent pas être supérieures aux valeurs données dans le Tableau 10.						
b Essais à effectuer avec une lampe à incandescence.						
c A l'étude.						
d Pour les appareils de commutation manœuvrés manuellement, le nombre de cycles de manœuvres doit être de 1 000 avec charge suivis de 5 000 sans charge.						

8.2.4.2.2 Appareils mécaniques de connexion en série des gradateurs hybrides

Les appareils mécaniques de connexion en série dans le circuit principal des gradateurs et contacteurs doivent satisfaire aux exigences de leurs propres normes de produit, et aux exigences complémentaires de 8.2.4.2 lorsqu'ils sont essayés comme un appareil seul.

Pour les gradateurs et contacteurs hybrides à dérivation (voir Figure 1), l'appareil mécanique de connexion en série peut avoir une caractéristique assignée de service qui est alignée avec la caractéristique assignée de service intermittent du gradateur à semiconducteurs.

Les pouvoirs de fermeture et de coupure doivent être vérifiés selon les procédures décrites en 9.3.3.5.1 et 9.3.3.5.2.

8.2.4.2.3 Appareils mécaniques de connexion en parallèle, ayant subi des essais de type, des gradateurs à dérivation

Les pouvoirs de fermeture et de coupure doivent être vérifiés lorsqu'ils sont essayés comme un appareil seul selon les procédures décrites en 9.3.3.5.1 et 9.3.3.5.3.

8.2.4.2.4 Appareils mécaniques de connexion en parallèle, dépendants, des gradateurs à dérivation

Les pouvoirs de fermeture et de coupure doivent être vérifiés lorsqu'ils sont essayés comme un appareil combiné selon les procédures décrites en 9.3.3.5.1 et 9.3.3.5.4

8.2.4.2.5 Appareils de connexion à semiconducteurs

L'aptitude à commander les courants de surcharge doit être vérifiée selon les procédures décrites en 9.3.3.6.3 et 9.3.3.6.4.

8.2.4.3 Exigences pour une charge d'amorçage

La charge d'amorçage pour l'essai de court-circuit (voir Figure I.1) doit être toute charge passive commode ayant les caractéristiques suivantes:

- a) la tension assignée doit être égale ou supérieure à U_e de l'appareil à essayer;
- b) le facteur de puissance doit être compris entre 0,8 et 1,0;
- c) avec la tension U_e appliquée à la charge d'amorçage, le courant qui circule peut avoir n'importe quelle valeur supérieure à 1 A.

8.2.5 Coordination avec dispositif de protection contre les courts-circuits

8.2.5.1 Fonctionnement dans des conditions de court-circuit

Le court-circuit assigné conditionnel des gradateurs et contacteurs protégés par un ou des dispositifs de protection contre les courts-circuits (DPCC) doit être vérifié par des essais de court-circuit comme spécifié en 9.3.4. Ces essais sont obligatoires.

Les caractéristiques assignées du DPCC doivent convenir à toute valeur donnée du courant assigné d'emploi, de la tension assignée d'emploi et de la catégorie d'emploi correspondante.

Deux types de coordination sont admis, le type 1 ou le type 2. Les conditions d'essais sont données pour ces deux types en 9.3.4.3.

La coordination de type 1 exige qu'en conditions de court-circuit, l'appareil ne cause pas de danger aux personnes ou à l'installation et peut ne pas être en état de fonctionnement pour d'autres services sans réparation ou remplacement de pièces.

La coordination de type 2 exige qu'en conditions de court-circuit, l'appareil ne cause pas de danger aux personnes et à l'installation et doit convenir à un usage ultérieur. Pour les gradateurs et contacteurs hybrides, le risque de soudure de contacts est admis, dans ce cas le constructeur doit indiquer les mesures à prendre pour la maintenance du matériel.

NOTE L'emploi d'un DPCC non conforme aux recommandations du constructeur peut compromettre la coordination.

8.2.5.2 Disponible

8.3 Exigences concernant la CEM

8.3.1 Généralités

Il est largement admis que l'obtention de la compatibilité électromagnétique entre différents ensembles d'appareils électriques et électroniques est un objectif souhaitable. En effet, dans bon nombre de pays des exigences obligatoires pour la CEM existent.

Les exigences précisées dans les paragraphes suivants sont incluses afin de permettre l'obtention de compatibilité électromagnétique pour les gradateurs et les contacteurs. Toutes les spécifications d'immunité ou d'émission applicables sont couvertes et aucun essai supplémentaire n'est demandé ou nécessaire. Le résultat en CEM n'est pas garanti dans le cas où le démarreur ou gradateur est sujet à une défaillance de composant électronique. Ces conditions ne sont pas prises en compte et ne font pas partie des exigences d'essai.

Tous les phénomènes, que ce soit en émission ou en immunité, sont considérés individuellement; les limites sont données pour des conditions qui ne sont pas considérées comme ayant des effets cumulatifs.

Pour les essais CEM, le système minimal à prendre en considération est composé du gradateur interconnecté avec une charge, des câbles, et des auxiliaires nécessaires à la mise en œuvre de l'ensemble des fonctionnalités.

Ces paragraphes ne décrivent ni n'affectent les recommandations de sécurité pour un gradateur ou contacteur à semiconducteurs telles que la protection contre les chocs électriques, la coordination d'isolement et les essais diélectriques correspondants, le fonctionnement dangereux, ou les conséquences dangereuses d'une défaillance.

8.3.2 Emission

Le 7.3.3.2 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique conformément à l'ensemble des conditions environnementales particulières définies dans le 7.3.1 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010).

L'ensemble des conditions environnementales particulières doit être précisé parmi les informations qui doivent être fournies avec l'équipement.

8.3.2.1 Emission basse fréquence relative à la fréquence du réseau

8.3.2.1.1 Harmoniques

Le 7.3.3.2.2 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec le complément suivant:

Étant donné qu'il n'y a pas d'émissions significatives d'harmoniques dans l'état de pleine conduction, les essais ne sont pas exigés pour les gradateurs et contacteurs qui fonctionnent dans l'état de pleine conduction ou pour les matériels à dérivation dont l'appareil mécanique de connexion en dérivation est mis en service après la réalisation du démarrage.

8.3.2.1.2 Variation de tension

Ce phénomène ne provient pas de l'action d'un gradateur à semiconducteurs, par conséquent aucun essai n'est demandé.

8.3.2.2 Emission haute fréquence

8.3.2.2.1 Emissions conduites de fréquence radioélectrique (RF)

Les limites indiquées au Tableau 15 doivent être vérifiées en accord avec les méthodes de 9.4.1.1.

8.3.2.2.2 Emissions rayonnées

Les limites indiquées au Tableau 16 doivent être vérifiées en accord avec les méthodes de 9.4.1.2.

8.3.3 Immunité

8.3.3.1 Généralités

Les perturbations des systèmes électriques peuvent être destructrices ou non destructrices en fonction de l'intensité de ces perturbations. Des perturbations destructrices (tension ou courant) causent des dommages irréversibles à un gradateur. Des perturbations non destructrices peuvent créer des dysfonctionnements temporaires ou des fonctionnements anormaux, mais le gradateur revient au fonctionnement normal après que la perturbation a été réduite ou supprimée; dans quelques cas cela peut nécessiter une intervention manuelle.

Il convient de consulter le constructeur dans les cas où de sévères perturbations extérieures peuvent survenir lorsqu'elles sont supérieures aux niveaux auxquels le gradateur a été essayé, par exemple des installations dans des endroits éloignés avec de longues lignes de puissance, proximité d'appareils ISM définis par la CISPR 11.

NOTE L'utilisation soignée de méthodes de découplage pendant l'installation aide à minimiser l'influence des perturbations transitoires extérieures. Par exemple, le câblage du circuit de commande peut être séparé de celui du circuit de puissance. Lorsque des couplages de câblage par proximité ne peuvent être évités, il est recommandé d'utiliser des paires torsadées ou des câblages blindés pour les connexions du circuit de commande.

Un certain nombre de exigences sont détaillées. Les résultats d'essai sont précisés à l'aide des critères de comportement de la série IEC 61000-4. Par commodité, les critères de comportement sont rappelés ici et décrits avec plus de détails spécifiques dans le Tableau 12.

Ces critères sont:

- 1) le fonctionnement normal dans les limites spécifiées;
- 2) la dégradation ou perte de fonction temporaire qui est autorécupérable;
- 3) la dégradation ou perte de fonction ou performance temporaire, nécessitant une intervention d'un opérateur ou un réarmement. Les fonctions normales doivent pouvoir être restaurées par simple intervention, par exemple par réarmement manuel ou redémarrage. Aucun composant ne doit être endommagé.

Les critères de comportement acceptables, utilisés pour le comportement général (A) lorsqu'un gradateur complet est essayé, sont indiqués au Tableau 12. Lorsqu'il n'est pas possible d'essayer le gradateur complet, les éléments de circuit séparés (B, C) sont utilisés.

Tableau 12 – Critères de comportement spécifiques en présence de perturbations électromagnétiques

Article	Critères de comportement durant les essais		
	1	2	3
A Comportement général	Pas de changements décelables des caractéristiques de fonctionnement. Fonctionnement attendu.	Changements décelables (visibles ou audibles) des caractéristiques de fonctionnement. Auto-récupérable.	Changements des caractéristiques de fonctionnement. Déclenchement des systèmes de protection. Non autorécupérable.
B Fonctionnement des afficheurs et panneaux de commande	Pas de changement visible de l'information affichée. Seulement une légère fluctuation de l'intensité lumineuse des DEL ou un léger mouvement des caractères.	Changements temporaires visibles ou perte d'information. Illumination de DEL non désirée.	Arrêt. Perte d'affichage permanent ou affichage d'information erronée. Mode de fonctionnement non autorisé. Non autorécupérable.
C Traitement de l'information et fonction de détection	Pas de perturbation de communication ou d'échange de données vers des systèmes externes.	Perturbation temporaire de la communication avec des erreurs possibles de transmission des systèmes internes ou externes.	Traitement erroné de l'information. Perte de données et/ou d'information. Erreurs dans la communication. Non autorécupérable.

8.3.3.2 Décharges électrostatiques

Les valeurs et méthodes d'essai sont données en 9.4.2.1.

8.3.3.3 Champs électromagnétiques à fréquence radio

Les valeurs d'essai et les procédures sont données en 9.4.2.2.

8.3.3.4 Transitoires rapides (5/50 ns)

Les valeurs et méthodes d'essai sont données en 9.4.2.3.

8.3.3.5 Ondes de chocs (1,2/50 μ s – 8/20 μ s)

Les valeurs et méthodes d'essai sont données en 9.4.2.4.

8.3.3.6 Harmoniques et encoches de commutation

Les valeurs et méthodes d'essai sont données en 9.4.2.5.

8.3.3.7 Creux de tension et microcoupures

Les valeurs et méthodes d'essai sont données en 9.4.2.6.

8.3.3.8 Champs magnétiques à fréquence industrielle

Les essais ne sont pas requis. L'immunité est démontrée par les essais satisfaisants d'aptitude au fonctionnement (voir 9.3.3.6).

9 Essais

9.1 Nature des essais

9.1.1 Généralités

Le 8.1.1 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

9.1.2 Essais de type

Les essais de type sont destinés à vérifier la conformité de la conception des gradateurs et des contacteurs, de toutes les variantes, à la présente norme. Ils comprennent les vérifications

- a) de l'échauffement (voir 9.3.3.3);
- b) des propriétés diélectriques (voir 9.3.3.4);
- c) de l'aptitude au fonctionnement (voir 9.3.3.6);
- d) du fonctionnement et limites de fonctionnement (voir 9.3.3.6.4);
- e) des pouvoirs assignés de fermeture et de coupure ainsi que le fonctionnement conventionnel en service des appareils mécaniques de connexion en série avec les matériels hybrides (voir 9.3.3.5);
- f) du fonctionnement en conditions de court-circuit (voir 9.3.4);
- g) des propriétés mécaniques des bornes (8.2.4 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique);
- h) des degrés de protection des gradateurs et des contacteurs sous enveloppe (l'Annexe C de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique);
- i) de l'essai de CEM (voir 9.4).

9.1.3 Essais individuels

Le 8.1.3 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique lorsque les essais sur prélèvement (voir 9.1.4) ne sont pas faits.

Les essais individuels des gradateurs et des contacteurs comprennent

- le fonctionnement et les limites de fonctionnement (voir 9.3.6.2);
- les essais diélectriques (voir 9.3.6.3).

9.1.4 Essais sur prélèvement

Les essais sur prélèvement des gradateurs et contacteurs comprennent

- le fonctionnement et les limites de fonctionnement (voir 9.3.6.2);
- les essais diélectriques (voir 9.3.6.3).

Le 8.1.4 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec les compléments suivants.

Un constructeur peut utiliser s'il le désire les essais sur prélèvement à la place des essais individuels. L'échantillonnage doit satisfaire aux exigences indiquées dans l'IEC 60410 ou être supérieur (voir Tableau II-A de l'IEC 60410:1973).

L'échantillonnage est basé sur un NQA ≤ 1 :

- critère d'acceptation $A_c = 0$ (aucun défaut accepté);
- critère de rejet $R_e = 1$ (pour un défaut, tout le lot doit être essayé).

Le prélèvement doit être fait à intervalles réguliers pour chaque lot individualisé.

D'autres méthodes statistiques satisfaisant aux exigences de l'IEC 60410 peuvent être utilisées, par exemple des méthodes statistiques assurant la maîtrise de la fabrication en continu ou la maîtrise de procédés incluant des calculs de capabilité.

Les essais sur prélèvement pour la vérification des distances d'isolement conformément à 8.3.3.4.3 de l'IEC 60947-1:2007 sont à l'étude.

9.1.5 Essais spéciaux

Les essais spéciaux comprennent les essais de chaleur humide, de brouillard salin, de vibrations et de chocs. Pour ces essais, l'Annexe Q de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique. Les conditions d'application sont à l'étude.

9.2 Conformité aux dispositions relatives à la construction

Le 8.2 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique.

9.3 Conformité aux exigences relatives au fonctionnement

9.3.1 Séquences d'essais

Chaque séquence d'essais est effectuée sur un échantillon à l'état neuf.

NOTE 1 Avec l'accord du constructeur, plus d'une séquence d'essais ou toutes les séquences d'essais peuvent être effectuées sur un seul échantillon. Cependant, les essais doivent être effectués selon la séquence donnée pour chaque échantillon.

NOTE 2 Quelques essais sont inclus dans les séquences uniquement afin de réduire le nombre d'échantillons requis, les résultats n'ayant aucune signification pour les essais qui précèdent et les essais qui suivent dans la séquence. En conséquence, pour la commodité des essais et avec l'accord du constructeur, ces essais peuvent

être effectués sur des échantillons neufs séparés et omis dans la séquence correspondante. Cela n'est applicable que pour les essais suivants lorsqu'ils sont prescrits:

- 8.3.3.4.1 point 7) de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010): Vérification des lignes de fuite;
- 8.2.4 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010): Propriétés mécaniques des bornes;
- Annexe C de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010): Degrés de protection du matériel sous enveloppe.

Pour faciliter les essais, la conformité avec 8.2.4.2 est omise de la séquence d'essai suivante. Néanmoins, le constructeur est obligé de vérifier la conformité par d'autres moyens convenables.

Les séquences d'essais doivent être les suivantes:

- a) Séquence d'essais I
 - 1) Vérification de l'échauffement (voir 9.3.3.3)
 - 2) Vérification des propriétés diélectriques (voir 9.3.3.4)
- b) Séquence d'essais II: vérification de l'aptitude au fonctionnement (voir 9.3.3.6)
 - 1) Essai de stabilité thermique (voir 9.3.3.6.2)
 - 2) Essai de capacité de surcharge (voir 9.3.3.6.3)
 - 3) Essai d'aptitude à la commutation et capacité de blocage (voir 9.3.3.6.4) comprenant la vérification du fonctionnement et des limites de fonctionnement.
- c) Séquence d'essais III

Vérification du fonctionnement en condition de court-circuit (voir 9.3.4).
- d) Séquence d'essais IV
 - 1) Vérification des propriétés mécaniques des bornes (voir 8.2.4 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010))
 - 2) Vérification des degrés de protection des matériels sous enveloppe (voir Annexe C de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010))
- e) Séquence d'essais V

Essais de CEM (voir 9.4).

9.3.2 Conditions générales d'essai

Le 8.3.2 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique avec le complément suivant.

Sauf pour les appareils spécifiquement désignés pour une seule fréquence, les essais effectués à 50 Hz couvrent les applications à 60 Hz et réciproquement.

Le choix des échantillons à soumettre à l'essai pour une série d'appareils de même conception fondamentale et sans différence significative de structure doit être fondé sur une appréciation technique.

Sauf spécification contraire de l'article d'essai concerné, le couple de serrage des connexions doit être celui qui est précisé par le constructeur ou, s'il n'est pas précisé, celui qui figure au Tableau 4 de l'IEC 60947-1:2007.

Lorsque plusieurs radiateurs sont spécifiés, celui qui a la résistance thermique la plus élevée doit être utilisé.

Des moyens de mesure en valeur efficace vraie doivent être utilisés pour la tension et le courant.

9.3.3 Fonctionnement à vide, dans les conditions normales de charge et dans les conditions de surcharge

9.3.3.1 Disponible

9.3.3.2 Disponible

9.3.3.3 Echauffement

9.3.3.3.1 Température de l'air ambiant

Le 8.3.3.3.1 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

9.3.3.3.2 Mesure de la température des organes

Le 8.3.3.3.2 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique.

9.3.3.3.3 Echauffement d'un organe

Le 8.3.3.3.3 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

9.3.3.3.4 Echauffement du circuit principal

Le 8.3.3.3.4 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec l'exception qu'un essai monophasé doit être effectué avec tous les pôles du circuit principal chargés avec leurs courants assignés maximum individuels et comme spécifié en 8.2.2.4, et avec les compléments suivants:

Pour les appareils de commutation à semi-conducteurs connectés dans le circuit principal (voir 8.2.2.4), les dispositifs de mesure de la température doivent être fixés sur la surface extérieure du boîtier du dispositif de commutation à semi-conducteurs susceptible d'avoir l'échauffement le plus élevé pendant cet essai. La température finale du boîtier, C_f , et la température ambiante finale, A_f , doivent être enregistrées pour être utilisées pendant l'essai de 9.3.3.6.3.

Pour les appareils mécaniques de connexion (voir 8.2.2.4.2 et 8.2.2.4.4), les dispositifs de mesure de la température doivent être fixés selon les exigences de 8.3.3.3 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010).

Tous les circuits auxiliaires parcourus normalement par du courant doivent être alimentés à la valeur maximale de leur courant assigné d'emploi (voir 5.6) et les circuits de commande doivent être alimentés à leurs tensions assignées.

9.3.3.3.5 Echauffement des circuits de commande

Le 8.3.3.3.5 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec le complément suivant.

L'échauffement doit être mesuré au cours de l'essai de 9.3.3.3.4.

9.3.3.3.6 Echauffement des bobines et des électro-aimants

Le 8.3.3.3.6 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec le complément suivant.

Les électro-aimants des appareils mécaniques de connexion destinés à fonctionner dans des gradateurs à semiconducteurs ou comme dispositifs mécaniques de connexion de dérivation doivent satisfaire à 8.2.2.6 avec le courant assigné traversant le circuit principal pour la durée de l'essai. L'échauffement doit être mesuré durant l'essai de 9.3.3.3.4.

9.3.3.3.7 Echauffement des circuits auxiliaires

Le 8.3.3.3.7 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec le complément suivant.

L'échauffement doit être mesuré au cours de l'essai de 9.3.3.3.4.

9.3.3.4 Propriétés diélectriques

9.3.3.4.1 Essais de type

1) Conditions générales pour les essais de tension de tenue

Le 8.3.3.4.1 1) de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique à l'exception de la dernière note. Voir aussi 8.2.3.

2) Vérification de la tension de tenue aux chocs

a) Généralités

Le 8.3.3.4.1 2) a) de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique.

b) Tension d'essai

Le 8.3.3.4.1 2) b) de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique avec la phrase suivante ajoutée.

Pour tout élément dont la tenue diélectrique n'est pas sensible à l'altitude (par exemple opto-coupleur, élément enrobé, etc.), l'application du coefficient correcteur d'altitude n'est pas applicable.

c) Application de la tension d'essai

Le matériel étant monté et préparé comme spécifié au point 1) ci-dessus, la tension d'essai est appliquée comme suit:

- i) entre tous les pôles du circuit principal reliés entre eux (y compris les circuits de commande et auxiliaire reliés au circuit principal) et l'enveloppe ou l'embase de montage avec, le cas échéant, les contacts dans toutes leurs positions normales de fonctionnement;
- ii) pour les pôles du circuit principal déclarés isolés galvaniquement des autres pôles: entre chaque pôle et les autres pôles reliés entre eux et à l'enveloppe ou l'embase de montage avec, le cas échéant, les contacts dans toutes leurs positions normales de fonctionnement;
- iii) entre chaque circuit de commande et circuit auxiliaire qui n'est pas normalement relié au circuit principal et
 - le circuit principal;
 - les autres circuits;
 - les parties conductrices exposées;
 - l'enveloppe ou l'embase de montage, qui, dans les cas appropriés, peuvent être reliés entre eux;
- iv) pour les matériels aptes au sectionnement, à travers les pôles du circuit principal, les bornes amont étant reliées entre elles et les bornes aval étant reliées entre elles. La tension d'essai doit être appliquée entre les bornes amont et aval du matériel, les contacts étant en position d'ouverture sectionnée, et sa valeur doit être comme cela est spécifié en 1) b) de 7.2.3.1 de l'IEC 60947-1:2007.

d) Critères d'acceptation

Le 8.3.3.4.1 2) d) de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique.

3) Vérification de la tenue à fréquence industrielle de l'isolation solide

a) Généralités

Le 8.3.3.4.1 3) a) de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique.

b) Tension d'essai

Le 8.3.3.4.1 3) b) de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique avec la phrase suivante ajoutée à la fin du premier alinéa.

Si une tension d'essai alternative ne peut pas être utilisée en raison de la présence d'éléments de filtres CEM qui ne peuvent pas être facilement déconnectés, une tension d'essai continue ayant la même valeur que la valeur crête de la tension alternative sélectionnée peut être appliquée.

c) Application de la tension d'essai

Le 8.3.3.4.1 3) c) de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique avec les deux dernières phrases modifiées comme suit:

La tension d'essai doit être appliquée pendant 5 s, dans les conditions suivantes:

- suivant les exigences des points i), ii) et iii) du 2) c) ci-dessus;
- dans le cas de gradateurs ou de contacteurs hybrides à semiconducteurs, à travers les pôles du circuit principal, les bornes amont étant reliées ensemble et les bornes aval étant reliées ensemble.

d) Critères d'acceptation

Le 8.3.3.4.1 3) d) de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique.

4) Vérification de la tenue à fréquence industrielle après les essais de manœuvre en charge et les essais de court-circuit

a) Généralités

Le 8.3.3.4.1 4) a) de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique.

b) Tension d'essai

Le 8.3.3.4.1 4) b) de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique.

c) Application de la tension d'essai

Le 8.3.3.4.1 4) c) de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique avec la phrase suivante ajoutée à la fin de l'alinéa.

L'usage d'une feuille métallique, comme mentionné au 8.3.3.4.1 1) de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010), n'est pas requis.

d) Critères d'acceptation

Le 8.3.3.4.1 4) d) de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique.

5) Disponible

6) Vérification de la tenue en courant continu

Le 8.3.3.4.1 6) de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique.

7) Vérification des lignes de fuite

Le 8.3.3.4.1 7) de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique (voir aussi 8.1.3).

8) Vérification du courant de fuite du matériel apte au sectionnement

Le courant de fuite ne doit pas dépasser les valeurs du 7.2.7 de l'IEC 60947-1:2007.

9.3.3.4.2 Disponible

9.3.3.4.3 Essais sur prélèvement pour la vérification des distances d'isolement

1) Généralités

Le 8.3.3.4.3 1) de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

2) Tension d'essai

La tension d'essai doit être celle correspondant à la tension assignée de tenue aux chocs.
Les plans et les règles d'échantillonnage sont à l'étude.

3) Application de la tension d'essai

Le 8.3.3.4.3 3) de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

4) Critères d'acceptation

Le 8.3.3.4.3 4) de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

9.3.3.5 Pouvoir de fermeture et pouvoir de coupure des appareils mécaniques de connexion

9.3.3.5.1 Généralités

On doit vérifier que les appareils mécaniques de connexion satisfont aux exigences de 8.2.4.2.

Si l'appareil mécanique de connexion n'a pas satisfait aux essais précédents, il doit satisfaire à 8.2.4.2 et aux paragraphes suivants. Les pouvoirs de fermeture et de coupure doivent être vérifiés selon 8.3.3.5 de l'IEC 60947-1:2007.

9.3.3.5.2 Appareils mécaniques de connexion en série des gradateurs hybrides

La vérification doit être faite en utilisant une des méthodes suivantes:

- a) l'appareil concerné peut être essayé comme un composant séparé, ou
- b) le gradateur hybride complet peut être essayé avec les appareils concernés installés comme en service normal et avec les composants à semiconducteurs court-circuités sur chaque pôle.

9.3.3.5.3 Appareils mécaniques de connexion en dérivation, ayant subi des essais de type, des gradateurs à dérivation

L'appareil concerné doit être essayé comme un composant séparé.

9.3.3.5.4 Appareils mécaniques de connexion en dérivation, dépendants, des gradateurs à dérivation

L'ensemble complet, avec le dispositif de dérivation installé, doit être essayé comme en service normal. Pour simuler la mise sous tension ou hors tension, la séquence de fonctionnement doit être la même qu'en service normal.

9.3.3.6 Aptitude au fonctionnement

9.3.3.6.1 Généralités

La conformité aux exigences de l'aptitude au fonctionnement de 8.2.4.1 doit être vérifiée pour les trois essais suivants.

- a) essais de stabilité thermique;
- b) essais d'aptitude en surcharge;
- c) essais de tenue au blocage et aptitude à la commutation.

Les essais simulent un service de 8 h.

Les connexions au circuit principal doivent être semblables à celles qui sont prévues lorsque le matériel est en service. La tension de commande doit être fixée à 110 % de la tension assignée d'alimentation de commande U_S .

Tableau 13 – Spécifications d'essai pour la stabilité thermique

Détails de l'essai	Niveau	Instructions
Objectif de l'essai	Vérifier que la variation de température entre des cycles successifs de fonctionnement identiques dans une séquence est inférieure à 5 % dans une période de 8 h Vérifier que l'échauffement des bornes accessibles de l'appareil mécanique de connexion dans le circuit principal ne dépasse pas les limites prescrites au Tableau 2 de la IEC 60947-1:2007	
Durée de l'essai	Effectuer l'essai jusqu'à $\Delta_n \leq 0,05$ ou après 8 h $\Delta_n = (C_n - C_{n-1} - A_n + A_{n-1})/(C_{n-1})$	
Conditions d'essai	Tableau 7	
Température de l'EUT ^a	C _n , température de boîtier	Moyen de détection de la température fixé sur la surface extérieure d'un dispositif de connexion à semiconducteur (voir 9.3.3.3.4) Surveiller le composant de puissance à semiconducteur susceptible d'être le plus chaud
Température ambiante	A _n , à tout niveau commode	Moyens de détection de la température pour surveiller les changements de la température ambiante (8.3.3.3.1 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique)
Résultats à obtenir	1) $\Delta_n \leq 0,05$ pendant une période de 8 h 2) Pas de détérioration visuelle évidente (telle que fumée, décoloration) 3) L'échauffement des bornes accessibles de l'appareil mécanique de connexion dans le circuit principal ne doit pas dépasser les limites exigées au Tableau 2 de la IEC 60947-1:2007 4) Lorsque les bornes ne sont pas accessibles, les limites du Tableau 2 de la IEC 60947-1:2007 peuvent être dépassées à condition que les parties adjacentes ne soient pas endommagées	
^a Matériel en essai.		

Tableau 14 – Exigences de température initiale du boîtier

Numéro du cycle de manœuvre	Température initiale du boîtier, C_i °C
1	Non inférieure à 40 °C.
2	Température la plus élevée permettant à nouveau le réarmement après le premier cycle de manœuvres du relais de surcharge recommandé par le constructeur et destiné à être utilisé avec le gradateur ou le contacteur.
3 et 4	≥ 40 °C plus l'échauffement maximal du boîtier pendant l'essai d'échauffement (voir 9.3.3.3).

9.3.3.6.2 Procédure d'essai de stabilité thermique

Les spécifications d'essais et les critères d'acceptation sont donnés dans le Tableau 13. Les profils d'essais sont représentés à la Figure F.1.

- 1) Attribuer un numéro d'ordre, n , à chaque période de passage de courant dans les séquences d'essais (c'est-à-dire $n = 0, 1, 2, \dots, n - 1, N$).
- 2) Enregistrer la température initiale du boîtier C_0 . Enregistrer la température ambiante initiale A_0 .
- 3) Ajuster le courant d'essai, I_T (voir Tableau 7). Mettre n à une nouvelle valeur telle que $n = n + 1$.
- 4) Appliquer la tension d'essai U_T , aux bornes d'entrée principales de l'EUT (matériel en essai). U_T peut rester appliquée pour la durée de l'essai ou peut être appliquée et retirée de façon synchronisée avec le fonctionnement de la tension de commande U_C .

Commuter l'EUT sur l'état passant (la tension de commande de l'EUT, U_c , est appliquée).

NOTE L'intervalle de temps de T_x commence à l'instant où le courant d'essai atteint la valeur $X \times I_e$. Par conséquent, le temps nécessaire au courant d'essai pour atteindre $X \times I_e$ augmente le temps d'essai total.

- 5) Après un temps T_x (voir Tableau 7), commuter l'EUT à l'état bloqué.
- 6) Enregistrer la température du boîtier C_n . Enregistrer la température ambiante A_n .
- 7) Décision pour arrêter (ou poursuivre) l'essai:
 - a) Calculer le facteur de changement de l'échauffement du boîtier:

$$\Delta_n = (C_n - C_{n-1} - A_n + A_{n-1}) / (C_{n-1})$$
 - b) Vérifier la conformité des résultats à obtenir (voir Tableau 13)

Si $\Delta_n > 0,05$, et que la durée totale de l'essai est inférieure à 8 h et les résultats à obtenir 1) et 2) du Tableau 13) sont respectés, répéter les étapes 3 à 7.

Si $\Delta_n > 0,05$, et que la durée totale de l'essai est supérieure à 8 h ou les résultats à obtenir ne sont pas respectés, arrêter l'essai. C'est un défaut.

Si $\Delta_n \leq 0,05$, et que la durée totale de l'essai est inférieure à 8 h et que les résultats 1), 2), 3) et 4) du Tableau 13 sont respectés, arrêter l'essai. L'essai est conforme.

9.3.3.6.3 Procédure d'essai de capacité de surcharge

- 1) Conditions d'essai
 - a) Se référer au Tableau 8. Le profil d'essai est représenté à la Figure F.2.
 - b) Les gradateurs et contacteurs utilisant un dispositif supplémentaire pouvant commander la coupure du courant, en plus du relais de surcharge fournissant une protection en conditions de surcharge pendant le fonctionnement normal à l'état pleine conduction, doivent être essayés avec ce dispositif en place. Dans cet essai, il est acceptable que le dispositif fasse commuter l'EUT à l'état bloqué dans un temps plus court que la durée de conduction spécifiée.
- 2) Réglage de l'EUT
 - a) L'EUT doit être réglé pour réduire le temps d'établissement du courant d'essai.
 - b) L'EUT équipé d'une limitation de courant doit être réglé à la valeur la plus élevée de X spécifiée pour I_e .
- 3) Essai
 - a) Etablir les conditions initiales.
 - b) Appliquer la tension d'essai aux bornes du circuit principal d'entrée de l'EUT.
(Avec la variante HxA, le contact du dispositif de connexion mécanique en série est fermé. Avec la variante HxB, celui-ci est ouvert.)
La tension d'essai doit être appliquée pendant la durée de l'essai.
 - c) Commuter l'EUT à l'état passant.
 - d) A la fin du temps prescrit à l'état passant (voir Tableau 8) commuter l'EUT à l'état bloqué.

NOTE Dans le cas de la variante HxB, l'état bloqué est remplacé par l'état ouvert.
 - e) Répéter les étapes c) et d) deux fois. Finir l'essai.
- 4) Vérifier les critères (voir 9.3.3.6.5)
 - a) Pas de perte de l'aptitude à la commutation.
 - b) Pas de perte de capacité de blocage.
 - c) Pas de perte de fonction.
 - d) Pas de détérioration visible.

9.3.3.6.4 Essai de capacité de blocage et d'aptitude à la commutation

Les spécifications d'essai sont données dans le Tableau 9. Les profils d'essai sont décrits à la Figure F.3.

Pour la variante HxA, les contacts du dispositif mécanique de connexion en série doivent être maintenus en position fermée pendant l'essai.

Pour la variante HxB, les contacts du dispositif mécanique de connexion en série peuvent être manœuvrés pour effectuer les cycles d'essai. Cependant, les mesures de tension entre les pôles doivent être effectuées avec les contacts en série fermés et les éléments de commutation à semiconducteurs à l'état bloqué. Le constructeur doit fournir des instructions pour équiper l'EUT de dispositifs spéciaux permettant de satisfaire aux exigences de mesure de la tension.

- 1) L'EUT doit être monté et raccordé comme en utilisation normale avec des longueurs de câble entre l'EUT et la charge d'essai non supérieures à 10 m.
- 2) Les dispositifs de mesure du courant doivent être installés de façon appropriée pour l'enregistrement des valeurs du courant de fuite à travers le gradateur au cours des étapes 3) et 7).

Si d'autres circuits auxiliaires ou appareils sont connectés en parallèle avec les éléments à semiconducteurs, des précautions doivent être prises pour éviter la mesure de courants parallèles; seul le courant de fuite des éléments à semiconducteurs doit être mesuré et les moyens pour obtenir ces mesures doivent être installés en conséquence.

- 3) Avec les tensions (voir Tableau 9) appliquées à l'EUT et la tension de commande U_c coupée, mesurer le courant à travers chaque pôle de l'EUT et enregistrer ces mesures comme valeurs initiales I_0 .

Le circuit d'essai doit rester fermé depuis le début de l'étape 4) jusqu'à l'achèvement de l'étape 7). Les dispositifs de mesure du courant peuvent être court-circuités par des dispositifs commandés à distance durant les étapes 5) et 6), mais ils ne doivent pas être retirés en ouvrant le circuit.

- 4) Pour commencer l'essai, les tensions d'essai (comme spécifié au Tableau 9) sont appliquées à l'EUT et maintenues pour la durée de l'essai jusqu'à l'achèvement de l'étape 7).
- 5) Avec la tension de commande U_c , faire fonctionner l'EUT entre l'état passant et l'état bloqué comme spécifié au Tableau 9. Si le gradateur ne fonctionne pas comme prévu, ou s'il apparaît une détérioration, l'essai est arrêté et considéré comme non satisfaisant.
- 6) Après le nombre de cycles de manœuvres requis, couper U_c en maintenant les tensions d'essai appliquées, permettant à l'EUT de retourner à la température ambiante initiale.
- 7) Répéter la procédure de mesure du courant de l'étape 3) et enregistrer comme mesures finales, I_F , correspondant aux valeurs initiales, I_0 .
- 8) Déterminer les valeurs concernant les courants de fuite à travers chaque pôle comme spécifié au point 1) du Tableau 9.

Pour obtenir la conformité, les critères spécifiés aux points 1), 2) et 3) du Tableau 9 doivent être satisfaits.

9.3.3.6.5 Comportement du gradateur à semiconducteurs pendant et après les essais d'aptitude au fonctionnement

a) Aptitude à la commutation

Si les appareils à semiconducteurs n'effectuent pas une manœuvre convenable, les premiers signes de défaillance sont mis en évidence par une dégradation des performances. La poursuite du fonctionnement dans ces conditions provoquera un emballement thermique. Le résultat final serait un échauffement excessif et une perte d'aptitude au blocage.

b) Stabilité thermique

Les appareils à semiconducteurs soumis à des cycles de manœuvres rapides peuvent ne pas être convenablement refroidis. Les premiers effets peuvent être le début d'emballement thermique, conduisant à une perte d'aptitude au blocage.

c) Aptitude au blocage

L'aptitude au blocage est la possibilité de passer à l'état bloqué et d'y demeurer chaque fois que cela est demandé. Des contraintes thermiques excessives diminuent l'aptitude au blocage. Cette défaillance est mise en évidence par la disparition partielle ou totale de la commande.

d) Etat de marche

Certaines défaillances peuvent ne pas être trop graves à leur début. Elles sont mises en évidence par la perte progressive d'une fonction. La rapidité de leur détection et des remèdes qui y sont apportés peut éviter des dommages permanents.

e) Examen visuel

Au stade final, des contraintes thermiques excessives dues à des températures élevées peuvent causer des dommages permanents. La détection visuelle (fumée ou décoloration) permet une alerte précoce vis-à-vis d'une panne définitive.

9.3.4 Fonctionnement dans des conditions de court-circuit

Ce paragraphe spécifie les conditions d'essai pour la vérification de la conformité aux exigences de 8.2.5.1. Les exigences spécifiques concernant les modalités et les séquences d'essai, l'état du matériel après les essais et les types de coordination sont indiqués en 9.3.4.1 et 9.3.4.3.

9.3.4.1 Conditions générales pour les essais de court-circuit

Les conditions générales pour les essais de court-circuit sont les suivantes:

- manœuvre «O»: comme condition de pré-essai, le contacteur/gradateur doit être maintenu à l'état passant à l'aide d'une charge d'amorçage. Le courant de pré-essai peut être de n'importe quelle faible valeur, supérieure au courant minimal de charge (voir 3.1.11) du contacteur/gradateur. Le courant de court-circuit est appliqué au contacteur/gradateur par la fermeture de l'appareil de mise en court-circuit. Le DPCC doit couper le courant de court-circuit et le contacteur/gradateur doit supporter le courant traversant;
- manœuvre «CO» pour les appareils à démarrage direct.

La température initiale du boîtier ne doit pas être inférieure à 40 °C. Dans certains cas, il peut être impossible de préchauffer l'EUT et de maintenir la température initiale du boîtier sur un emplacement d'essai qui peut être pourvu uniquement de moyens d'essais de court-circuit. Dans de tels cas, le constructeur et l'utilisateur peuvent accepter d'essayer l'EUT à la température ambiante. Dans ce cas, la température la plus basse doit être enregistrée dans le rapport d'essai.

9.3.4.1.1 Exigences générales pour les essais de court-circuit

Les exigences générales du 8.3.4.1.1 de l'IEC 60947-1:2007 s'appliquent avec les modifications suivantes

L'enveloppe doit être conforme aux spécifications du constructeur. Lorsque plusieurs types d'enveloppes sont fournis, l'enveloppe ayant le plus petit volume doit être utilisée.

Si les produits soumis à l'essai à l'air libre peuvent aussi être utilisés dans des enveloppes, ils doivent de plus être soumis à l'essai dans la plus petite des enveloppes proposées par le constructeur. Pour les appareils soumis à l'essai uniquement à l'air libre, une information doit être fournie pour indiquer qu'ils ne sont pas destinés à être utilisés dans une enveloppe individuelle.

9.3.4.1.2 Circuit d'essai pour la vérification du fonctionnement dans des conditions de court-circuit

Le 8.3.4.1.2 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) s'applique à l'exception de la coordination de type 1 pour laquelle l'élément fusible F et la résistance R_L sont remplacés par un fil rigide de 6 mm^2 , d'une longueur de 1,2 m à 1,8 m, raccordé au point neutre, ou après accord du constructeur, à l'un des pôles.

NOTE Cette section plus importante du fil n'est pas utilisée à des fins de détection, mais pour établir une condition de mise à la terre permettant une évaluation du dommage.

Le circuit d'essai de 8.3.4.1.2 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010) doit être modifié et câblé comme indiqué à la Figure I.1. La charge d'amorçage et l'appareil de mise en court-circuit doivent avoir les caractéristiques suivantes:

- a) la charge d'amorçage doit être conforme avec les exigences spécifiées en 8.2.4.3;
- b) l'appareil de mise en court-circuit (ne faisant pas partie de l'EUT) doit pouvoir établir et transporter le courant de court-circuit sans interférer dans le processus d'application du courant de court-circuit (par exemple rebonds ou autres ouvertures intermittentes des contacts).

9.3.4.1.3 Facteur de puissance du circuit d'essai

Le 8.3.4.1.3 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

9.3.4.1.4 Disponible

9.3.4.1.5 Etalonnage du circuit d'essai

Le 8.3.4.1.5 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

9.3.4.1.6 Procédure d'essai

Le 8.3.4.1.6 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec les compléments suivants.

Le gradateur ou contacteur et son DPCC associé doivent être installés et connectés dans des conditions normales d'utilisation. Ils doivent être connectés dans le circuit d'essai en utilisant une longueur de câble maximale de 2,4 m (adapté au courant assigné du gradateur ou contacteur) pour chaque circuit principal.

Si le DPCC est séparé du gradateur ou du contacteur, il doit être connecté en utilisant le câble spécifié ci-dessus (la longueur totale du câble ne doit pas excéder 2,4 m).

Les essais en triphasé sont considérés comme étant valables pour les applications monophasées.

La chronologie pour la séquence d'essai est donnée à la Figure I.2.

- a) L'essai débute avec l'appareil de mise en court-circuit en position ouverte (temps T_0).
- b) La tension d'essai est alors appliquée et la charge d'amorçage doit limiter le courant à une valeur au moins suffisante pour maintenir le gradateur à l'état passant (temps T_1).
- c) A n'importe quel instant après que le courant traversant le contacteur/gradateur se soit stabilisé, l'appareil de mise en court-circuit peut alors être fermé à un instant aléatoire établissant ainsi un courant de court-circuit dans l'EUT (temps T_2); ce courant doit être coupé par le DPCC (temps T_3).

9.3.4.1.7 Disponible

9.3.4.1.8 Interprétation des enregistrements

Le 8.3.4.1.8 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

9.3.4.2 Disponible

9.3.4.3 Courant de court-circuit conditionnel des gradateurs et des contacteurs

9.3.4.3.1 Généralités

Le gradateur ou le contacteur et le DPCC associé doivent être soumis aux essais de 9.3.4.4.2.

Aucun autre essai n'est requis pour les gradateurs à dérivation avec composants indépendants.

Les gradateurs à dérivation ayant des composants dépendants doivent être soumis à deux essais séparés de court-circuit selon 9.3.4.

- a) Essai 1: L'essai est effectué avec les semiconducteurs en mode passant et avec les contacts de dérivation ouverts. Cela est destiné à simuler les conditions d'un court-circuit se produisant pendant le démarrage dans un mode qui est commandé par les semiconducteurs.
- b) Essai 2: L'essai est effectué avec les semiconducteurs en mode dérivé avec les contacts de dérivation fermés. Cela est destiné à simuler les conditions d'un court-circuit se produisant lorsque les semiconducteurs de l'EUT sont court-circuités.

Les essais doivent être effectués de manière à obtenir les valeurs maximales de I_e et de U_e pour la catégorie d'emploi AC-51.

Lorsque le même composant est utilisé pour plusieurs valeurs assignées, l'essai doit être effectué dans les conditions correspondant au courant assigné I_e le plus élevé.

Les commandes doivent être alimentées par une alimentation électrique séparée et à la tension de commande spécifiée. Le DPCC utilisé doit être comme précisé en 8.2.5.1.

Si le DPCC est un disjoncteur avec un courant de réglage ajustable, l'essai doit être réalisé avec le disjoncteur réglé au courant maximal pour la coordination de type 1, et au réglage maximal déclaré pour la coordination de type 2.

Pendant l'essai, toutes les ouvertures de l'enveloppe doivent être fermées comme en service normal et la porte ou le couvercle fermé(e) comme prévu.

Un gradateur ou un contacteur répondant à une gamme assignée de charges et muni de moyens de protection contre les surintensités interchangeable doit être essayé avec le moyen de protection contre les surintensités d'impédance la plus élevée et avec celui d'impédance la plus faible, avec les DPCC correspondants.

La manœuvre O ou CO doit être réalisée avec un échantillon à I_q .

9.3.4.3.2 Essai au courant conditionnel de court-circuit I_q

Le circuit doit être réglé au courant de court-circuit présumé I_q égal au courant assigné de court-circuit conditionnel.

Si le DPCC est un fusible et si le courant d'essai se situe dans le domaine de limitation de courant du fusible, le fusible doit alors être, si possible, choisi pour admettre les valeurs maximales de courant coupé I_c (correspondant à la Figure 4 de l'IEC 60269-1:2006) et de contrainte thermique I^2t .

Sauf pour les contacteurs DOL, une opération de coupure du DPCC doit être réalisée avec le contacteur en état de pleine conduction et le DPCC fermé; le courant de court-circuit doit être établi par un dispositif de connexion séparé.

Pour les contacteurs DOL, une manœuvre de coupure du DPCC doit être réalisée en fermant le contacteur sur le court-circuit.

9.3.4.3.3 Résultats à obtenir

Le gradateur ou le contacteur doit être considéré comme ayant satisfait aux essais au courant présumé I_q si les conditions suivantes sont remplies pour le type de coordination annoncé.

Pour les deux types de coordination:

- a) le courant de défaut a été interrompu de façon satisfaisante par le DPCC ou le contacteur. De plus, l'élément fusible ou le raccordement solide placé entre l'enveloppe et l'alimentation ne doit pas avoir fondu;
- b) la porte ou le couvercle de l'enveloppe n'a pas été ouvert(e) par l'effet de souffle, et il est possible de l'ouvrir. On peut cependant admettre une déformation de l'enveloppe pourvu que le degré de protection de cette dernière ne soit pas inférieur à IP2X;
- c) aucun dommage n'a été causé à un conducteur ou à une borne et aucun conducteur n'a été arraché de sa borne;
- d) aucune craquelure ou cassure d'un socle isolant, susceptible d'affecter le montage d'une partie active, ne s'est produite;

Coordination de type 1:

- e) aucune projection d'organe n'a eu lieu au delà de l'enveloppe. Les dommages causés au gradateur et au moyen de protection contre les surintensités sont admis. Le gradateur ou le contacteur peut être hors d'état de fonctionnement après l'essai;

Coordination de type 2:

- f) aucun dommage n'a été causé au moyen de protection contre les surintensités ni à aucun autre organe, et aucun remplacement d'organe n'est autorisé durant l'essai. Pour les gradateurs et contacteurs hybrides, la soudure des contacts est admise à la condition que l'on puisse facilement les séparer (par exemple à l'aide d'un tournevis) sans déformation appréciable. Dans le cas de contacts soudés comme décrit ci-dessus, la fonctionnalité de l'appareil doit être vérifiée dans les conditions du Tableau 8 pour la catégorie d'utilisation déclarée, en effectuant 10 cycles de manœuvre (au lieu de cinq);
- g) le déclenchement du moyen de protection contre les surintensités doit être vérifié à un multiple du courant de réglage et doit être conforme aux caractéristiques de déclenchement annoncées aussi bien avant qu'après l'essai de court-circuit;
- h) on doit vérifier, par un essai diélectrique sur le gradateur ou le contacteur, que l'isolation est suffisante. La tension d'essai doit être appliquée comme spécifié en 9.3.3.4.1 4).

9.3.5 Disponible

9.4 Essais CEM

Tous les essais d'émission ou d'immunité sont des essais de type et doivent être réalisés dans des conditions représentatives, à la fois de fonctionnement et d'environnement, en utilisant les méthodes de câblage recommandées par le constructeur et en incluant toute enveloppe spécifiée par celui-ci.

Une lampe à incandescence et une charge capacitive sont nécessaires pour ces essais dans le cas des catégories d'utilisation AC-55b et AC-56b respectivement. Toutefois, dans le cas d'un appareil utilisable pour plusieurs catégories d'emploi, les essais doivent être réalisés seulement à l'aide d'une charge correspondant à la catégorie AC-51. Si l'appareil n'est pas prévu pour être utilisé en catégorie AC-51, les essais doivent être réalisés dans la catégorie d'emploi définie par accord entre constructeur et utilisateur. Excepté pour l'essai d'émission harmonique, il n'est pas nécessaire de charger le circuit d'éclairage ou le condensateur. Si pour certains essais la charge employée est de puissance inférieure à celle de la gamme de puissance du gradateur à semiconducteurs, cela doit être spécifié dans le rapport d'essai. Dans le cas de la catégorie AC-51, le matériel en essai doit être essayé au courant assigné d'emploi et avec un $\cos \varphi = 1^{-0,05}$. Pour les appareils de courant $I_e \leq 16$ A, le courant d'essai doit être I_e . Pour les appareils de courant $I_e > 16$ A, le courant d'essai doit faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le constructeur, pourvu que ce courant soit supérieur à 16 A. Cette valeur doit être indiquée dans le rapport d'essai. Les essais ne sont pas nécessaires sur les sorties de puissance. Sauf exigences contraires du constructeur, la longueur des connexions à la charge doit être de 3 m.

NOTE Le temps de balayage pour l'analyse fréquentielle est souvent plus long que le temps de transition. En conformité avec la version actuelle de la série IEC 61000-4, un résultat de mesures satisfaisant peut être obtenu uniquement en régime établi.

Le rapport d'essai doit donner toutes les informations pertinentes relatives aux essais (par exemple les conditions de charge, les dispositions des câbles, etc.). Une description fonctionnelle ainsi qu'une définition des limites de spécification pour les critères de comportement doivent être fournies par le constructeur et notées dans le rapport d'essai. Le rapport d'essai doit inclure toutes les mesures spéciales qui ont été prises pour obtenir la conformité, par exemple l'utilisation de câbles blindés ou spéciaux. Une liste des appareils auxiliaires, qui, avec le gradateur, constituent le matériel nécessaire pour satisfaire aux exigences d'immunité ou d'émission, doit également être incluse dans le rapport. Les essais doivent être menés avec les valeurs assignées de tension d'alimentation U_s et effectués d'une manière reproductible.

Les gradateurs de variante 4 dans lesquels les éléments de commutation de puissance, par exemple des thyristors, ne conduisent pas en permanence durant une partie ou la totalité des régimes permanents de fonctionnement, doivent être essayés dans des conditions de conduction minimale, choisies par le fabricant pour représenter le fonctionnement du gradateur aux points correspondants à l'émission ou à la susceptibilité maximale (voir 9.4.1).

9.4.1 Essais d'émission CEM

9.4.1.1 Essai d'émission conduite aux fréquences radioélectriques

La description de l'essai, la méthode d'essai et l'installation d'essai sont donnés dans la CISPR 11.

Il est suffisant d'essayer deux échantillons d'une gamme de gradateurs de différents calibres de puissance, qui représentent le plus grand et le plus petit calibre de puissance de la gamme.

L'émission ne doit pas dépasser les valeurs données au Tableau 15.

Tous les tests d'émission doivent être effectués en régime établi.

Si un filtre CEM est nécessaire pour satisfaire aux niveaux d'émission tels que définis dans le Tableau 15, alors sa référence ou ses caractéristiques doivent être déclarées dans le rapport d'essai.

Tableau 15 – Limites de perturbation en tension sur les bornes pour les émissions conduites aux fréquences radioélectriques

Plage de fréquences MHz	Environnement A ^a puissance d'entrée assignée ≤ 20 kVA		Environnement A ^{a, b} puissance d'entrée assignée > 20 kVA		Environnement B ^a	
	Quasi-crête dB (μV)	Moyenne dB (μV)	Quasi-crête dB (μV)	Moyenne dB (μV)	Quasi-crête dB (μV)	Moyenne dB (μV)
0,15 à 0,5	79	66	100	90	66 à 56 (décroît avec le log de la fréquence)	56 à 46 (décroît avec le log de la fréquence)
0,5 à 5	73	60	86	76	56	46
5 à 30	73	60	90 à 73 (décroît avec le log de la fréquence)	80 à 60 (décroît avec le log de la fréquence)	60	50

A la fréquence de transition, la limite la plus contraignante doit être appliquée.

^a Défini par l'IEC 60947-1.

^b Ces limites sont applicables au matériel possédant une puissance d'entrée assignée > 20 kVA. Le constructeur et/ou le fournisseur doit/doivent donner des informations concernant les mesures d'installation susceptibles d'être utilisées pour réduire les émissions provenant du matériel installé. Ils doivent plus spécialement indiquer que ce matériel est destiné à être alimenté par un transformateur de puissance ou un groupe électrogène particulier et non par des lignes de puissance aériennes basse tension.

Limites conformes à celles de la CISPR 11, Groupe 1.

9.4.1.2 Essais d'émissions rayonnées aux fréquences radioélectriques

La description de l'essai, la méthode d'essai et l'installation d'essai sont données dans la CISPR 11.

NOTE Aux Etats-Unis, les dispositifs numériques dont la puissance consommée est inférieure à 6 nW sont exemptés d'essais d'émission aux fréquences radioélectriques.

Il est suffisant d'essayer un échantillon unique représentatif d'une gamme de gradateurs ou de contacteurs de différentes puissances assignées.

Les émissions ne doivent pas dépasser les niveaux donnés au Tableau 16.

Tableau 16 – Limites d'essai d'émissions rayonnées

Plage de fréquences MHz	Environnement A ^a Quasi-crête dB (μV)			Environnement B ^a Quasi-crête dB (μV)	
	à 30 m	à 10 m	à 3 m	à 10 m	à 3 m
30 à 230	30	40	50	30	40
230 à 1 000	37	47	57	37	47

A la fréquence de transition, la limite la plus contraignante doit être appliquée.

^a Les essais peuvent être effectués à une distance de 3 m dans le cas de petits matériels uniquement (matériel qui est, soit placé sur une table, soit posé sur le sol, et qui tient à l'intérieur d'un volume d'essai cylindrique dont le diamètre est égal à 1,2 m et dont la hauteur au-dessus du plan au sol est égal à 1,5 m, y compris ses câbles).

9.4.2 Essais d'immunité CEM

Lorsqu'une gamme de gradateurs comprend des électroniques de commande configurées de façon similaire, dans des tailles de boîtiers similaires, il est seulement nécessaire d'essayer un seul échantillon représentatif du gradateur ou du contacteur comme spécifié par le constructeur.

9.4.2.1 Décharges électrostatiques

Le 8.4.1.2.2 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique, avec le complément suivant:

Le critère 2 d'aptitude à la fonction du Tableau 12 de la présente norme s'applique.

Les essais ne sont pas requis sur les bornes de puissance. Les décharges doivent être appliquées seulement aux points qui sont accessibles durant l'utilisation normale.

Les essais ne sont pas possibles si le gradateur est présenté sur un châssis ouvert ou avec un degré de protection IP00. Dans ce cas, le constructeur doit fixer une étiquette d'avertissement sur l'appareil informant de la possibilité de dommages dus aux décharges statiques.

9.4.2.2 Champ électromagnétique aux fréquences radioélectriques

Pour les essais d'immunité conduite, le 8.4.1.2.6 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec le complément suivant:

Le critère 1 d'aptitude à la fonction du Tableau 12 de la présente norme s'applique.

Pour les essais de tenue aux champs électromagnétiques aux fréquences radioélectriques, le 8.4.1.2.3 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec le complément suivant:

Le critère 1 d'aptitude à la fonction du Tableau 12 de la présente norme s'applique.

9.4.2.3 Transitoires rapides (5/50 ns)

Le 8.4.1.2.4 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec les compléments suivants:

Les bornes pour les circuits auxiliaires et de commande prévus pour le raccordement de conducteurs de plus de 3 m doivent faire l'objet d'un essai.

Le gradateur doit être conforme au critère 2 d'aptitude à la fonction du Tableau 12 de la présente norme.

9.4.2.4 Ondes de choc (1,2/50 μ s – 8/20 μ s)

Le 8.4.1.2.5 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

La valeur préférée du déphasage est 90° ou 270°. D'autres déphasages selon l'IEC 61000-4-5 doivent également être testés, s'ils correspondent au pire des cas.

NOTE En principe, 90° et 270° constituent les cas d'essai les plus défavorables pour les semi-conducteurs de puissance.

Le gradateur doit être conforme au critère 2 d'aptitude à la fonction du Tableau 12 de la présente norme.

9.4.2.5 Harmoniques et encoches de commutation

Aucune exigence; les niveaux d'essais seront à l'étude ultérieurement.

9.4.2.6 Creux de tension et coupures brèves

Le 8.4.1.2.8 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique avec le critère 3 d'aptitude à la fonction du Tableau 12 de la présente norme, classe 3 telle que définie dans le Tableau 23 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010), à l'exception des cas 0,5 cycle et 1 cycle pour lesquels le critère 2 d'aptitude à la fonction du Tableau 12 de la présente norme s'applique.

9.5 Essais individuels et par prélèvement

9.5.1 Généralités

Les essais individuels sont des essais auxquels est soumis tout gradateur ou contacteur pris séparément pendant ou après sa fabrication pour vérifier qu'il répond aux exigences fixées.

Les essais individuels ou par prélèvement doivent être effectués dans les mêmes conditions ou dans des conditions équivalentes à celles qui sont spécifiées pour les essais de type aux points correspondants de 9.1.2. Cependant, les limites de fonctionnement de 9.5.2 peuvent être vérifiées sur le moyen de protection contre les surintensités seul et à la température de l'air ambiant; mais une correction peut être nécessaire pour se ramener aux conditions normales d'ambiance.

9.5.2 Fonctionnement et limites de fonctionnement

Il doit être vérifié que le matériel fonctionne conformément aux dispositions de 8.2.1.2 et de 8.2.1.5.

L'aptitude au fonctionnement spécifiée en 8.2.1.2 doit être vérifiée par un essai de capacité de blocage et d'aptitude à la commutation suivant le Tableau 9 et 9.3.3.6.4. Deux cycles de manœuvre sont demandés, l'un à 85 % de U_e avec 85 % de U_s , et l'autre à 110 % de U_e avec 110 % de U_s .

Les 2 essais suivants doivent être effectués.

- a) L'aptitude au fonctionnement doit être vérifiée par un essai de capacité de blocage et d'aptitude à la commutation suivant le Tableau 9.

Deux cycles de manœuvre sont demandés, l'un à 85 % de U_e avec 85 % de U_s , et l'autre à 110 % de U_e avec 110 % de U_s . Aucune perte de fonctionnement, comme spécifié par le constructeur, n'est permise.

- b) Il doit être vérifié que le matériel fonctionne selon les exigences de 8.2.1.5.

9.5.3 Essais diélectriques

L'usage de la feuille métallique n'est pas nécessaire. Les essais doivent être effectués sur des gradateurs et contacteurs propres et secs.

La vérification de la tenue diélectrique peut être effectuée avant l'assemblage final de l'appareil (par exemple avant la connexion des éléments sensibles tels que les condensateurs de filtre).

- 1) Tension de tenue aux chocs

Le 8.3.3.4.2 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

- 2) Tension de tenue à fréquence industrielle

Le 8.3.3.4.2 de l'IEC 60947-1:2007 s'applique.

3) Tensions combinées d'ondes de choc et à fréquence industrielle.

Les essais des points 1) et 2) ci-dessus peuvent être remplacés par un seul essai de tenue à fréquence industrielle où la valeur de crête de l'onde sinusoïdale correspond à la valeur la plus élevée donnée aux points 1) et 2).

Annexe A (normative)

Marquage et identification des bornes

A.1 Généralités

L'identification des bornes a pour objet de fournir des informations concernant les fonctions de chaque borne ou sa localisation par rapport à d'autres bornes ou encore de servir à d'autres usages.

A.2 Marquage et identification des bornes des gradateurs et contacteurs

A.2.1 Marquage et identification des bornes des circuits principaux

Les bornes des circuits principaux doivent être marquées par des nombres d'un seul chiffre et par une combinaison alphanumérique.

Tableau A.1 – Marquages des bornes des circuits principaux

Bornes	Marquages
Circuit principal	1/L1-2/T1 3/L2-4/T2 5-L3-6/T3 7/L4-8/T4

Dans le cas de types particuliers de gradateurs ou de contacteurs (voir 5.2.e)3), le constructeur doit fournir les schémas de raccordement.

A.2.2 Marquage et identification des bornes des circuits de commande

A.2.2.1 Bornes d'alimentation des circuits de commande

A l'étude.

A.2.2.2 Bornes d'entrée/sortie des circuits de commande

A l'étude.

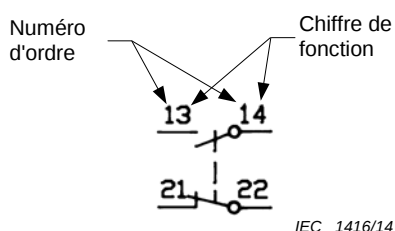
A.2.3 Marquage et identification des circuits auxiliaires

A.2.3.1 Généralités

Les bornes des circuits auxiliaires doivent être marquées ou identifiées sur les schémas par des nombres de deux chiffres:

- le chiffre des unités est un chiffre de fonction;
- le chiffre des dizaines est un numéro d'ordre.

Les exemples suivants illustrent un tel système de marquage.

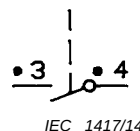
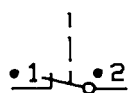


A.2.3.2 Chiffre de fonction

Les chiffres de fonction 1, 2 sont attribués aux circuits comprenant des contacts à ouverture et les chiffres de fonction 3, 4 aux circuits comprenant des contacts à fermeture.

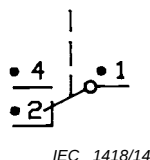
NOTE 1 Les définitions des contacts de fermeture et des contacts d'ouverture sont données, respectivement, en 2.3.12 et 2.3.13 de l'IEC 60947-1:2007.

Exemples:



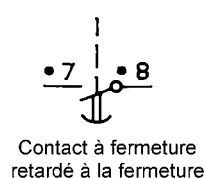
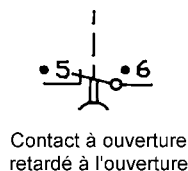
NOTE 2 Dans les exemples ci-dessus, les points prennent la place des numéros d'ordre qui sont normalement ajoutés suivant le cas.

Les bornes des circuits comprenant des éléments de contact à deux directions doivent être marquées par les chiffres de fonction 1, 2 et 4.



Les chiffres de fonction 5 et 6 (pour les contacts à ouverture) et 7 et 8 (pour les contacts à fermeture) sont attribués aux bornes des circuits auxiliaires comprenant des contacts auxiliaires ayant des fonctions spéciales.

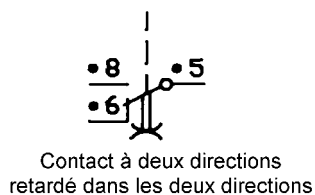
Exemple:



IEC 1419/14

Les bornes des circuits comprenant des éléments de contacts à deux directions ayant des fonctions spéciales doivent être marquées par les chiffres de fonction 5, 6 et 8.

Exemple:



IEC 1420/14

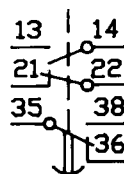
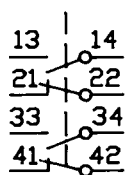
A.2.3.3 Numéro d'ordre

Les bornes appartenant à un même élément de contact doivent être marquées par le même numéro d'ordre.

Tous les éléments de contact ayant la même fonction doivent recevoir des numéros d'ordre différents.

Le marquage du numéro d'ordre sur les bornes peut être omis seulement si ce dernier apparaît clairement au travers d'information complémentaire donnée par le constructeur ou l'utilisateur.

Exemple:



IEC 1421/14

Annexe B (informative)

Conditions de service typique pour les gradateurs et contacteurs

B.1 Contrôle d'éléments chauffants à résistance

Trois méthodes principales de commande selon a), b) et c) sont décrites:

- a) contacteur à fonction simple de mise en circuit et hors circuit. Les gradateurs ou contacteurs à semiconducteurs unipolaires (gradateurs de variante 5) avec une commutation au zéro peuvent être utilisés pour réduire le transitoire à la fermeture (AC-51);
- b) dans le cas d'éléments à résistance bobinée, le courant commuté peut être jusqu'à 1,4 fois le courant assigné. La mise en circuit de tels éléments chauffants au moyen d'une augmentation graduelle de la tension aux bornes peut réduire les contraintes mécaniques et électriques;
- c) contrôle de la charge des éléments chauffants à résistance par réglage de la tension aux bornes de la charge (contrôle de la tension) et le rapport du temps à l'état passant à l'état bloqué (commutation de la pleine tension), ou une combinaison des deux. Le contrôle de la charge peut être réalisé au moyen d'un signal de retour de la charge à un circuit comparateur ou appareil qui détermine le cycle de manœuvres et/ou la tension de sortie du gradateur à semiconducteurs. Ce comparateur ou cet appareil de contrôle peut être incorporé dans le gradateur à semiconducteurs ou être utilisé seulement pour générer le signal de commutation (par exemple dans le cas d'un gradateur de variante 5, c'est-à-dire un contacteur à semiconducteurs).

B.2 Commande de lampes à décharge électrique

La catégorie d'emploi adaptée doit prendre en considération les éléments a) à d) suivants:

- a) Durant la mise en circuit normale d'une phase, les lampes fluorescentes sans correction du facteur de puissance ou celles dans une connexion à double lampe déphasées, véhiculent des courants de préchauffage qui peuvent atteindre des valeurs d'environ deux fois le courant assigné pendant un court instant (AC-55a).

Dans le cas de lampes fluorescentes compensées parallèles, des appels de courant transitoire de 20 fois le courant assigné de la capacité peuvent se produire (AC-56b).

Dans le cas de lampes fluorescentes avec des unités de ballast électronique, des appels de courant de 10 fois le courant assigné de la lampe peuvent se produire pendant un court instant.

- b) Les lampes à vapeur de mercure à haute pression et les lampes aux halogénures métalliques (avec ou sans correction du facteur de puissance) sont commutées via des unités ballast sous forme d'inductance série et, dans le cas des lampes aux halogénures métalliques, avec l'aide d'appareils à amorçage. Durant les 3 à 5 premières minutes après mise en circuit, et avant que les lampes atteignent leur condition de fonctionnement normal au courant assigné, un courant principalement inductif est établi. Ce courant peut être jusqu'à deux fois le courant assigné de la lampe. Le contacteur à semiconducteurs utilisé doit admettre cette valeur de courant (AC-55a).
- c) Les lampes à vapeur de sodium à haute pression (sans correction du facteur de puissance) véhiculent un courant inductif approximativement égal à 1,7 à 2,2 fois leur courant assigné pendant 5 min à 10 min avant d'atteindre leur condition de fonctionnement. Le profil de surcharge du contacteur à semiconducteurs utilisé doit admettre cette valeur de courant (AC-55a).

- d) Les lampes à vapeur de mercure à haute pression, et les lampes aux halogénures métalliques et à vapeur de sodium avec correction du facteur de puissance véhiculent des courants d'appels capacitifs transitoires élevés. Il convient que cela soit pris en compte dans la sélection de contacteurs à semiconducteurs pour de telles charges (AC-56b).

B.3 Commutation de lampes à incandescence

Les contacteurs à semiconducteurs peuvent être utilisés pour commuter des circuits d'éclairage incandescents souvent associés à la mise en circuit de courant transitoire élevé (AC-55b).

Les courts-circuits entre les spires dans les lampes à incandescence peuvent causer des surintensités importantes qui circulent à travers les appareils connectés en série. Ce phénomène est considéré comme une condition de court-circuit. La coordination entre le contacteur à semiconducteurs et le dispositif de protection contre les courts-circuits (pouvant être incorporé dans la lampe) est couvert par 8.2.5.

B.4 Commutation de transformateurs

Les contacteurs à semiconducteurs avec commutation contrôlée à une valeur définie et une rampe croissante spéciale peuvent être utilisés pour optimiser la commutation des charges à transformateur (limitation de l'impulsion), car des appels de courant transitoire élevé associés à la mise en circuit de transformateurs sont fortement dépendants de l'angle de la phase de la tension appliquée à l'instant où le courant commence à circuler.

B.5 Commutation de bancs de condensateurs

L'amplitude et la fréquence des courants transitoires ne sont pas seulement déterminées par la capacité de la charge, mais aussi par les réactances dans le circuit associé et les lignes d'alimentation ainsi que par le point sur la forme d'onde de la tension alternative appliquée auquel le courant commence à circuler. Dans le cas de bancs de condensateur (par exemple d'un système de correction du facteur de puissance), les condensateurs déjà dans le circuit présentent une source d'énergie supplémentaire et peuvent se décharger dans la charge capacitive commutée via les conducteurs de liaison faiblement inductifs et l'appareillage de commutation (par exemple contacteur à semiconducteurs). Ces appels de courant élevé doivent être pris en compte dans le choix d'appareil à commutation (AC-56b).

En outre, il convient de prendre en compte ce souci en ce qui concerne la surtension (différence entre la tension des condensateurs et la tension d'alimentation).

Annexe C

Disponible

Annexe D

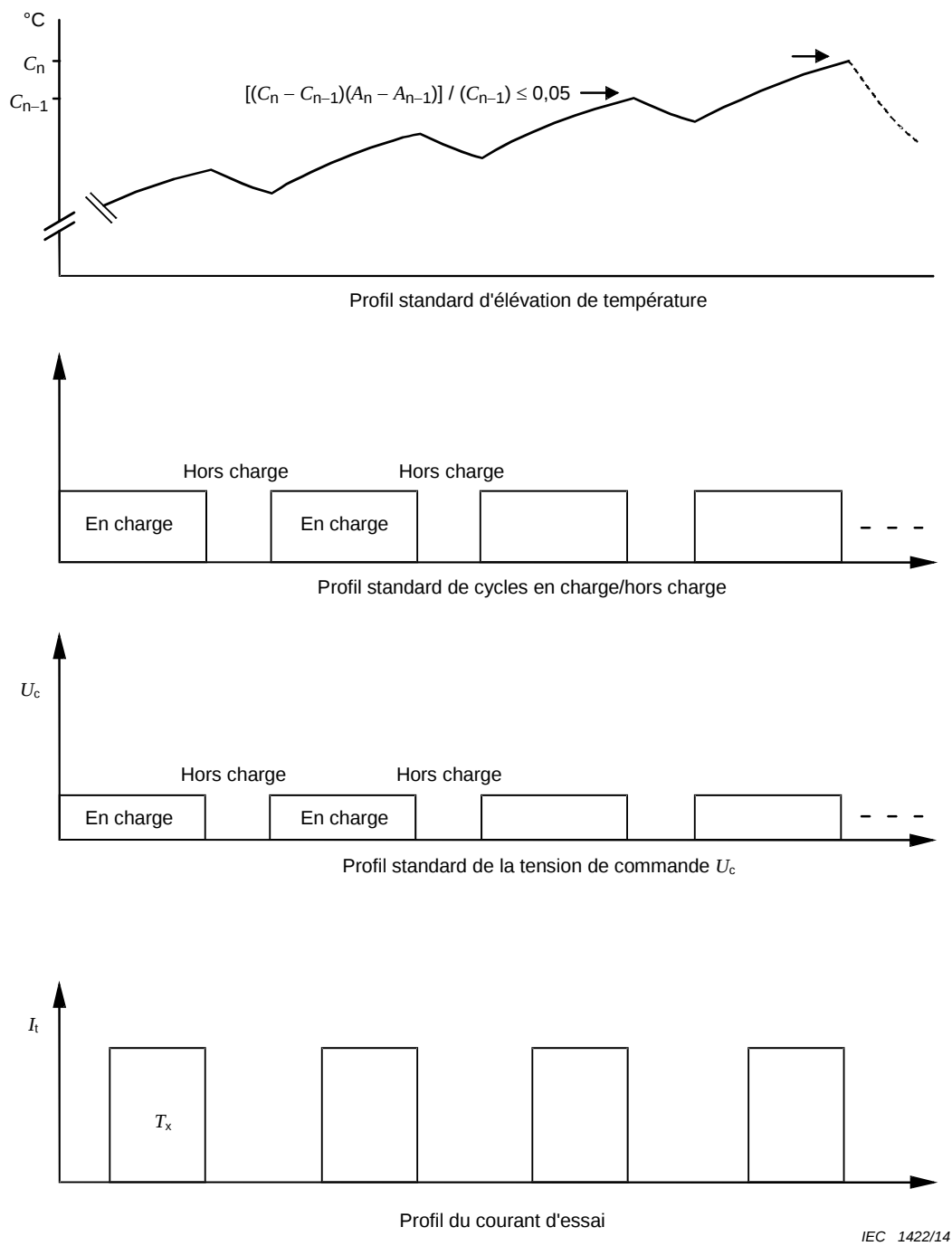
Disponible

Annexe E

Disponible

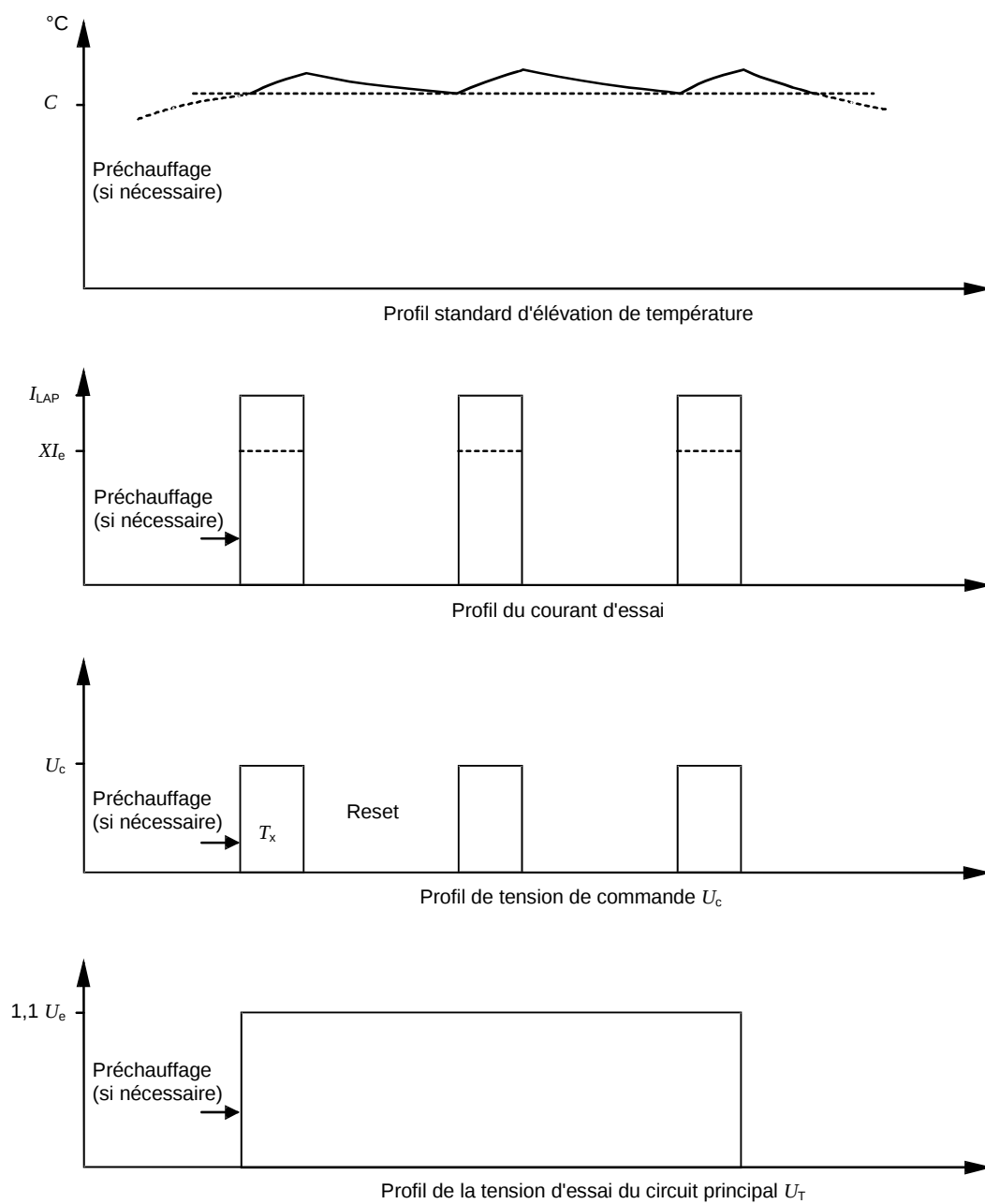
Annexe F
(informative)

Aptitude au fonctionnement



IEC 1422/14

Figure F.1 – Profil d'essai de stabilité thermique



IEC 1423/14

Figure F.2 – Profil d'essai de capacité de surcharge

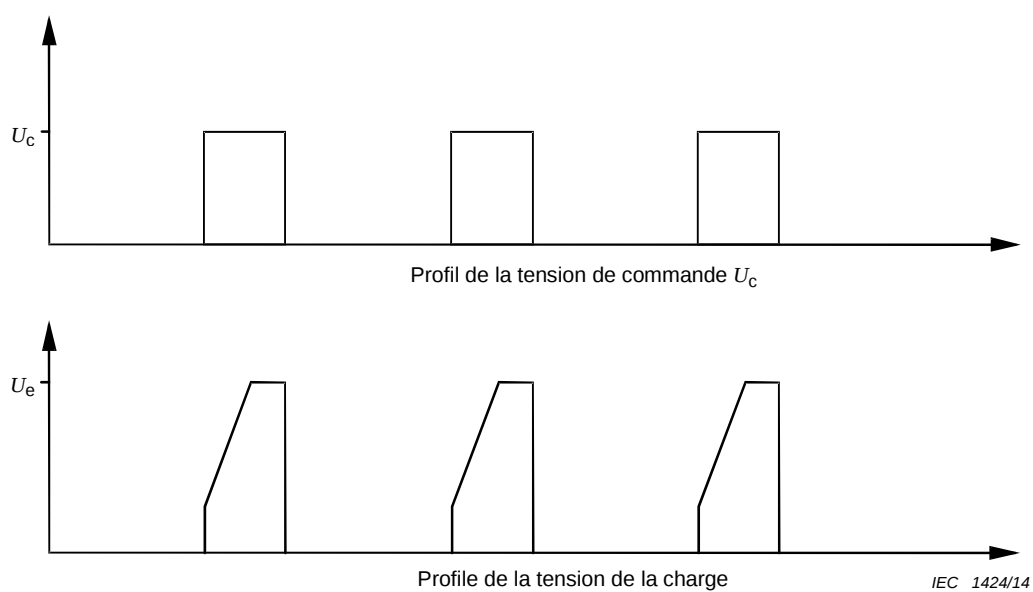


Figure F.3 – Profil d'essai de capacité de blocage et d'aptitude à la commutation

Annexe G

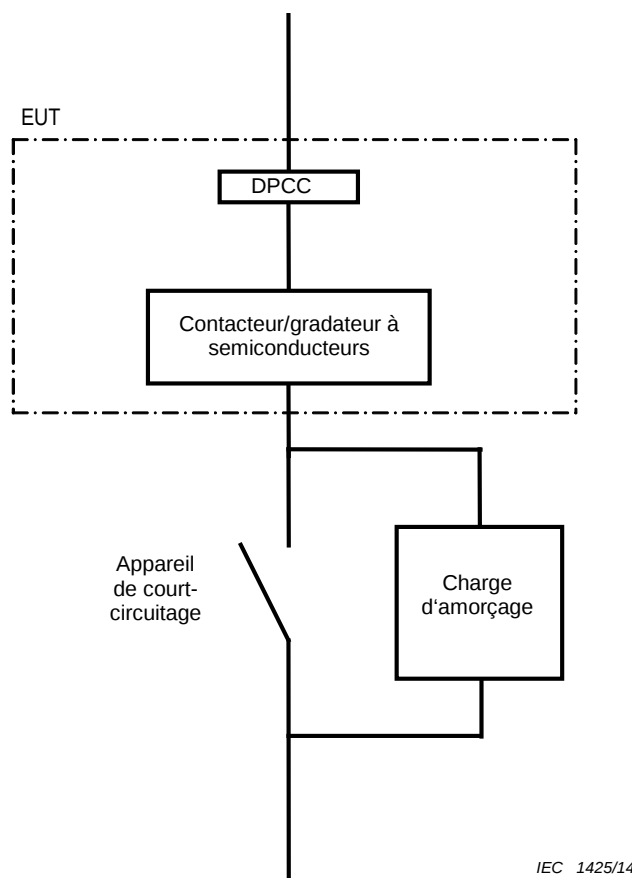
Disponible

Annexe H

Disponible

Annexe I (normative)

Circuit d'essai modifié pour l'essai de court-circuit des contacteurs et gradateurs à semiconducteurs



Légende

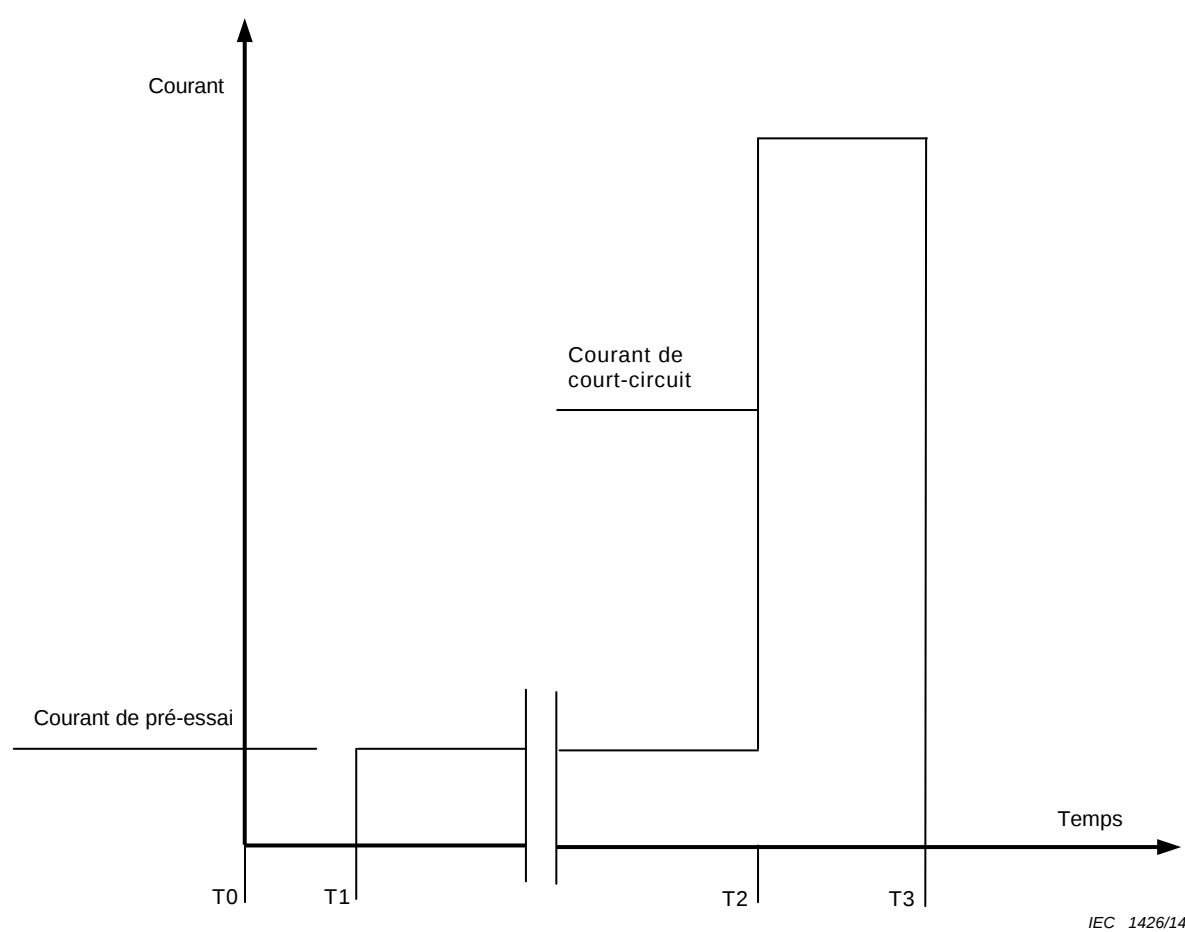
EUT Matériel en essai (y compris les câbles de raccordement)

NOTE Le contour comprend l'écran métallique ou l'enveloppe.

**Figure I.1 – Circuit modifié pour l'essai de court-circuit des appareils
à semiconducteurs**

Les circuits normaux pour les essais de court-circuit sont illustrés aux Figures 9 à 12 de l'IEC 60947-1:2007, Amendement 1 (2010).

Ce schéma montre, pour une phase, les modifications à apporter au circuit d'essai normal pour les essais de court-circuit des gradateurs à semiconducteurs. Les modifications à apporter sur chacune des phases sont identiques pour essayer des appareils polyphasés. Les seules modifications à apporter sont celles indiquées sur cette figure.

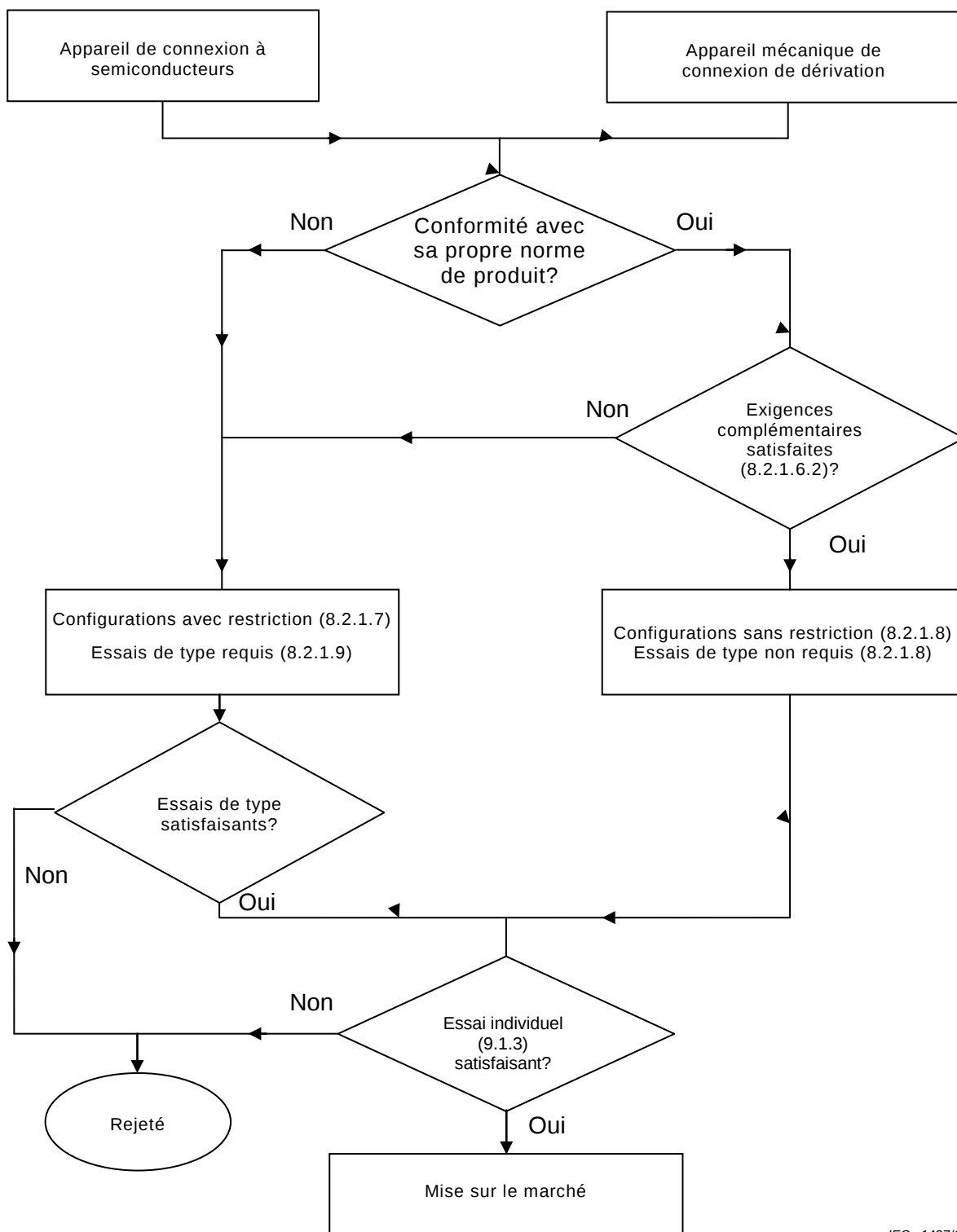
**Légende**

- | | | |
|-------|--|----------------|
| T_0 | l'appareil de court-circuitage s'ouvre | (9.3.4.1.6 a)) |
| T_1 | le circuit d'essai est mis sous tension | (9.3.4.1.6 b)) |
| T_2 | l'appareil de court-circuitage est fermé | (9.3.4.1.6 c)) |
| T_3 | le DPCC coupe le courant | |

Figure I.2 – Chronologie pour l'essai de court-circuit de 9.3.4.1.6

Annexe J (informative)

Diagramme pour définir les essais des gradateurs à semiconducteurs à dérivation



Bibliographie

IEC 60050-161:1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*

Amendement 1:1997

Amendement 2:1998

IEC 60085:2007, *Isolation électrique – Évaluation et désignation thermiques*

IEC 60146 (toutes les parties), *Convertisseurs à semiconducteurs – Exigences générales et convertisseurs commutés par le réseau*

IEC 60664 (toutes les parties), *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension*

IEC 60947-4-2:2011, *Appareillage à basse tension – Partie 4-2: Contacteurs et démarreurs de moteurs – Gradateurs et démarreurs à semiconducteurs de moteurs à courant alternatif*

IEC 61439 (toutes les parties), *Ensembles d'appareillage à basse tension*

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