

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Low-voltage switchgear and controlgear –
Part 4-2: Contactors and motor-starters – Semiconductor motor controllers,
starters and soft-starters**

**Appareillage à basse tension –
Partie 4-2: Contacteurs et démarreurs de moteurs – Gradateurs, démarreurs et
démarreurs progressifs à semiconducteurs de moteurs**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2020 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
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 corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 once a month by email.

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: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 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.

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.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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 une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 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.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Low-voltage switchgear and controlgear –
Part 4-2: Contactors and motor-starters – Semiconductor motor controllers,
starters and soft-starters**

**Appareillage à basse tension –
Partie 4-2: Contacteurs et démarreurs de moteurs – Gradateurs, démarreurs et
démarreurs progressifs à semiconducteurs de moteurs**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.130.20

ISBN 978-2-8322-8451-3

**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.....	7
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	10
2 Normative references	11
3 Terms, definitions, symbols and abbreviated terms.....	12
3.1 Terms and definitions.....	12
3.1.1 Terms and definitions concerning the types of semiconductor motor controllers and starters	12
3.1.2 Terms and definitions concerning semiconductor motor controllers and starters	14
3.1.3 Terms and definitions concerning safety aspects	17
3.1.4 Alphabetical index of terms	18
3.2 Symbols and abbreviated terms	20
4 Classification.....	20
5 Characteristics of semiconductor motor controllers and starters	20
5.1 Summary of characteristics	20
5.2 Type of equipment	21
5.2.1 Kind of equipment.....	21
5.2.2 Number of poles	21
5.2.3 Kind of current	21
5.2.4 Interrupting medium (air, vacuum, etc.).....	21
5.2.5 Operating conditions of the equipment.....	21
5.3 Rated and limiting values for main circuits	22
5.3.1 Rated voltages.....	22
5.3.2 Currents.....	24
5.3.3 Rated frequency	25
5.3.4 Duty cycle values and sequences	25
5.3.5 Normal load and overload characteristics.....	25
5.3.6 Rated conditional short-circuit current.....	27
5.3.7 Semiconductor motor controller power losses	27
5.4 Utilization category	28
5.4.1 General.....	28
5.4.2 Assignment of ratings based on the results of tests	28
5.5 Control circuits.....	29
5.6 Auxiliary circuits.....	29
5.7 Characteristics of relays and releases (overload relays).....	29
5.7.1 Summary of characteristics	29
5.7.2 Types of relay or release	30
5.7.3 Characteristic values	30
5.7.4 Designation and current settings of overload relays	31
5.7.5 Time-current characteristics of overload relays	31
5.7.6 Influence of ambient air temperature.....	32
5.8 Coordination with short-circuit protective devices (SCPD).....	32
6 Product information	32
6.1 Nature of information	32
6.2 Marking.....	34

6.3	Instructions for installation, operation, maintenance, decommissioning and dismantling	34
6.4	Environmental information	34
7	Normal service, mounting and transport conditions	35
7.1	Normal service conditions	35
7.1.1	Ambient air temperature	35
7.1.2	Altitude	35
7.1.3	Atmospheric conditions	35
7.1.4	Shock and vibrations	35
7.2	Conditions during transport and storage	35
7.3	Mounting	35
7.4	Electrical system disturbances and influences	35
8	Constructional and performance requirements	36
8.1	Constructional requirements	36
8.1.1	General	36
8.1.2	Materials	36
8.1.3	Current-carrying parts and their connections	37
8.1.4	Clearances and creepage distances	37
8.1.5	Actuator	37
8.1.6	Indication of the contact position	37
8.1.7	Additional requirements for equipment suitable for isolation	37
8.1.8	Terminals	37
8.1.9	Additional requirements for equipment provided with a neutral pole	38
8.1.10	Provisions for protective earthing	38
8.1.11	Enclosures for equipment	38
8.1.12	Degrees of protection of enclosed equipment	38
8.1.13	Conduit pull-out, torque and bending with metallic conduits	38
8.1.14	Limited energy source	38
8.1.15	Stored charge energy circuit	40
8.1.16	Fault and abnormal conditions	40
8.1.17	Short-circuit and overload protection of ports	41
8.2	Performance requirements	41
8.2.1	Operating conditions	41
8.2.2	Temperature-rise	46
8.2.3	Dielectric properties	47
8.2.4	Normal load and overload performance requirements	48
8.2.5	Coordination with short-circuit protective devices	53
8.3	EMC requirements	54
8.3.1	General	54
8.3.2	Immunity	54
8.3.3	Emission	56
9	Tests	56
9.1	Kinds of tests	56
9.1.1	General	56
9.1.2	Type tests	56
9.1.3	Routine tests	57
9.1.4	Sampling tests	57
9.1.5	Special tests	57
9.2	Compliance with constructional requirements	58

9.2.1	General.....	58
9.2.2	Electrical performance of screwless-type clamping units.....	58
9.2.3	Ageing test for screwless-type clamping units.....	59
9.2.4	Limited energy source test.....	59
9.2.5	Breakdown of components.....	59
9.2.6	Wire flexing test.....	60
9.3	Compliance with performance requirements.....	60
9.3.1	Test sequences.....	60
9.3.2	General test conditions.....	61
9.3.3	Performance under no load, normal load, and overload conditions.....	61
9.3.4	Performance under short-circuit conditions.....	72
9.4	EMC tests.....	75
9.4.1	General.....	75
9.4.2	EMC immunity tests.....	76
9.4.3	EMC emission tests.....	76
9.5	Routine and sampling tests.....	79
9.5.1	General.....	79
9.5.2	Operation and operating limits.....	79
9.5.3	Dielectric tests.....	79
Annex A (normative)	Marking and identification of terminals.....	81
A.1	General.....	81
A.2	Marking and identification of terminals of semiconductor controllers and starters.....	81
A.2.1	Marking and identification of terminals of main circuits.....	81
A.2.2	Marking and identification of terminals of control circuits.....	81
A.3	Marking and identification of terminals of overload relays.....	81
Annex B (xxx)		82
Annex C (normative)	Coordination at the crossover current between the starter and associated SCPD.....	83
C.1	General and definitions.....	83
C.1.1	General.....	83
C.1.2	Terms and definitions.....	83
C.2	Condition for the test for the verification of coordination at the crossover current by a direct method.....	83
C.3	Test currents and test circuits.....	83
C.4	Test procedure and results to be obtained.....	84
C.4.1	Test procedure.....	84
C.4.2	Results to be obtained.....	84
C.5	Verification of coordination at the crossover current by an indirect method.....	84
C.5.1	General.....	84
C.5.2	Test for I_{cd}	84
C.5.3	Time-current characteristic withstand capability of controllers/starters.....	85
Annex D (xxx)		87
Annex E (xxx)		88
Annex F (informative)	Operating capability.....	89
Annex G (informative)	Rated operational currents and rated operational powers of switching devices for electrical motors.....	93
G.1	General.....	93
G.2	Rated operational powers and rated operational currents.....	93

Annex H (xxx)	97
Annex I (normative) Modified test circuit for short-circuit testing of semiconductor motor controllers and starters	98
Annex J (xxx)	100
Annex K (xxx)	101
Annex L (normative) Examples of overvoltage category reduction	102
L.1 General	102
L.2 Insulation to the surroundings	102
L.2.1 Circuits connected directly to the supply mains	102
L.2.2 Insulation between circuits	103
Annex M (xxx)	107
Annex N (normative) Additional requirements and tests for equipment with protective separation	108
N.1 General	108
N.2 Definitions	108
N.3 Requirements	108
N.3.1 Test method for implementing protective impedance	108
N.3.2 Touch current measurement	109
Bibliography	111
Figure 1 – Semiconductor motor control devices	13
Figure 2 – Connecting methods	24
Figure 3 – Thermal memory test	44
Figure 4 – Multiple of current setting limits for ambient air temperature compensated time-delay overload relays	71
Figure C.1 – Examples of time-current withstand characteristic	86
Figure F.1 – Thermal stability test profile	90
Figure F.2 – Overload capability test profile	91
Figure F.3 – Blocking and commutating capability test profile	92
Figure I.1 – Modified circuit for short-circuit testing of semiconductor devices	98
Figure I.2 – Time line for the short-circuit test of 9.3.4.1.6	99
Figure L.1 – Basic insulation evaluation for circuits connected directly to the origin of the installation mains supply	102
Figure L.2 – Basic insulation evaluation for circuits connected directly to the mains supply	103
Figure L.3 – Basic insulation evaluation for equipment not permanently connected to the mains supply	103
Figure L.4 – Basic insulation evaluation for insulation between circuits connected directly to the origin of the installation mains supply and that are declared galvanically separated	104
Figure L.5 – Basic insulation evaluation for insulation between circuits connected directly to the mains supply and that are declared galvanically separated	104
Figure L.6 – Basic insulation evaluation for insulation between circuits not permanently connected directly to the mains supply and that are declared galvanically separated	105
Figure L.7 – Basic insulation evaluation for insulation between circuits connected directly to the origin of the installation mains supply and that are declared galvanically separated where internal SPDs are used	105

Figure L.8 – Basic insulation evaluation for insulation between circuits connected directly to the mains supply and that are declared galvanically separated where internal SPDs are used	106
Figure L.9 – Basic insulation evaluation for insulation between circuits connected directly to the mains supply and that are declared galvanically separated	106
Figure N.1 – Protection by means of protective impedance	109
Figure N.2 – Measuring instrument	110
Table 1 – Utilization categories	28
Table 2 – Relative levels of severity	29
Table 3 – Trip classes of overload relays	31
Table 19 – Limits for limited energy sources without an over-current protective device	39
Table 20 – Limits for limited energy sources with an over-current protective device	39
Table 21 – Limits for limited energy source with current limiting impedance	40
Table 4 – Limits of operation of time-delay overload relays when energized on all poles	43
Table 5 – Limits of operation of three-pole time-delay overload relays when energized on two poles only	45
Table 6 – Temperature-rise limits for insulated coils in air and in oil	47
Table 7 – Minimum overload current withstand time (T_X) in relation to overload current ratio (X) and corresponding to overload relay trip class (see Table 3)	49
Table 8 – Minimum requirements for thermal stability test conditions	50
Table 9 – Prospective locked rotor current by utilization categories	50
Table 10 – Minimum requirements for overload capability test conditions	51
Table 11 – Making and breaking capacity test; making and breaking conditions according to utilization categories for the mechanical switching device	52
Table 12 – Conventional operational performance making and breaking conditions according to utilization categories for the mechanical switching device	53
Table 13 – Specific performance criteria when EM disturbances are present	55
Table 14 – Thermal stability test specifications	66
Table 15 – Initial case temperature requirements	66
Table 16 – Minimum requirements and conditions for performance testing with an induction motor load	68
Table 17 – Terminal disturbance voltage limits for conducted radio-frequency emission (AC mains power port)	78
Table 18 – Radiated emissions test limits	79
Table A.1 – Main circuit terminal markings	81
Table C.1 – Test conditions	85
Table G.1 – Rated operational powers and rated operational currents of motors	94
Table L.1 – Drawing keys	102

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

LOW-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

**Part 4-2: Contactors and motor-starters –
Semiconductor motor controllers, starters and soft-starters**

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 60947-4-2 has been prepared by subcommittee 121A: Low-voltage switchgear and controlgear, of IEC technical committee 121: Switchgear and controlgear and their assemblies for low voltage.

This fourth edition cancels and replaces the third edition published in 2011. This edition constitutes a technical revision.

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

- scope exclusions;
- editorial correction of notes and hanging paragraphs;
- reference to IEC 62683-1;

- safety aspects related to:
 - general aspects;
 - limited energy circuits;
 - electronic circuits;
- mention of dedicated wiring accessories;
- power consumption measurement;
- alignment to IEC 60947-1:2020.

The provisions of the general rules dealt with IEC 60947-1 are applicable to this part of IEC 60947 series where specifically called for. Clauses and subclauses, tables, figures and annexes of the general rules thus applicable are identified by reference to IEC 60947-1:2020.

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

FDIS	Report on voting
121A/353/FDIS	121A/360/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 the parts in the IEC 60947 series, under the general title *Low-voltage switchgear and controlgear*, can be found on the IEC website.

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

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

INTRODUCTION

This document covers low-voltage semiconductor motor controllers, starters and soft-starters that have many capabilities and features beyond the simple starting and stopping of an induction motor, such as controlled starting and stopping, manoeuvring and controlled running.

The generic term “controller” is used in this document wherever reference is made to elements of power semiconductor switching devices.

The generic term “starter” is used in this document wherever reference is made to the elements of power semiconductor switching devices together with suitable overload protective devices.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

LOW-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 4-2: Contactors and motor-starters – Semiconductor motor controllers, starters and soft-starters

1 Scope

This part of IEC 60947 applies to semiconductor motor controllers, starters and soft-starters which can include a series mechanical switching device, intended to be connected to circuits the rated voltage of which does not exceed 1 000 V AC.

This document characterizes semiconductor motor controllers and starters with and without bypass means.

This document does not apply to:

- semiconductor motor controllers and starters used for continuous operation of AC motors at motor speeds other than the normal speed¹;
- electromechanical contactors and external overload relays (see IEC 60947-4-1);
- short-circuit protective device associated with semiconductor motor controllers and starters (see IEC 60947-4-1 (MPSD), IEC 60947-2 and IEC 60947-3);
- semiconductor equipment, including semiconductor contactors (3.4.13 of IEC 60947-1:2020) controlling non-motor loads (see IEC 60947-4-3);
- semiconductor motor controllers and starters used for rotor circuits¹;
- adjustable speed electrical power drive systems (see IEC 61800 series);
- use of the product within explosive atmospheres (see IEC 60079 series);
- software and firmware requirements¹;

NOTE 1 Guidance on embedded software is given in IEC TR 63201.

- cyber security aspects (see IEC TS 63208).

Contactors, overload relays and control circuit devices used in semiconductor motor controllers and starters are considered compliant with the requirements of their relevant product standard. Where mechanical switching devices are used, they are considered meeting the requirements of their own IEC product standard, and the additional requirements of this document.

The object of this document is to state as follows:

- the characteristics of semiconductor motor controllers, starters and soft-starters and associated equipment;
- the conditions with which semiconductor motor controllers, starters and soft-starters comply with reference to
 - a) their operation and behaviour in normal and abnormal operating conditions including overcurrent operating conditions;
 - b) their dielectric properties;
 - c) the degrees of protection provided by their enclosures where applicable;

¹ For this subject, the manufacturer is responsible for taking additional safety measures.

- d) their construction including safety measures against electric shock, fire hazard and mechanical hazard;
- the tests intended for confirming that these conditions have been met, and the methods to be adopted for these tests;
- the information to be given with the equipment, or in the manufacturer's literature.

NOTE 2 For the purpose of this document, the term "controller" is used instead of "semiconductor motor controller".

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60034-1:2017, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*

IEC 60445, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Identification of equipment terminals, conductor terminations and conductors*

IEC 60715, *Dimensions of low-voltage switchgear and controlgear – Standardized mounting on rails for mechanical support of switchgear, controlgear and accessories*

IEC 60730-1, *Automatic electrical controls – Part 1: General requirements*

IEC 60947-1:2020, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules*

IEC 61000-3-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)*

IEC 61000-3-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-3: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection*

IEC 61000-3-11, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-11: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems – Equipment with rated current ≤ 75 A and subject to conditional connection*

IEC 61000-3-12, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-12: Limits – Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current > 16 A and ≤ 75 A per phase*

IEC 61140:2016, *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment*

CISPR 11:2015, *Industrial, scientific and medical equipment – Radio-frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurement*
CISPR 11:2015/AMD1:2016

ISO 2859-1:1999, *Sampling procedures for inspection by attributes – Part 1: Sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection*

3 Terms, definitions, symbols and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60947-1:2020, as well as the following terms, definitions, symbol and abbreviations apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- ISO Online browsing platform: available at <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>

3.1.1 Terms and definitions concerning the types of semiconductor motor controllers and starters

3.1.1.1

semiconductor switching device

switching device designed to make and/or break the current in an electric circuit by means of the controlled conductivity of a semiconductor

Note 1 to entry: This definition differs from IEC 60050-441:1984, 441-14-03 since a semiconductor switching device is also designed for breaking the current.

[SOURCE: IEC 60947-1:2020, 3.4.3, modified – Note 1 to entry added.]

3.1.1.2

semiconductor controller

semiconductor switching device that provides a switching function for an AC electrical load and an OFF-state

Note 1 to entry: Because hazardous levels of the OFF-state current (3.1.2.12) exist in a semiconductor controller, the load terminals should be considered as live parts 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 3.4.3 of IEC 60947-1:2020 for the definition of semiconductor switching device.

Note 4 to entry: This device can include internal electromechanical switching device(s) bypassing or in series with the semiconductor at the manufacturer's discretion.

3.1.1.3

semiconductor motor controller

semiconductor controller that provides the starting function for an AC motor and an OFF-state

Note 1 to entry: This device can include any starting method specified by the manufacturer, control functions which can have any combination of manoeuvring, controlled acceleration, running or controlled deceleration of an AC motor. A FULL-ON state can also be provided.

Note 2 to entry: See Figure 1.

3.1.1.4

direct-on-line semiconductor motor controller

DOL semiconductor motor controller

semiconductor motor controller, in which the starting function is limited to a full-voltage, unramped starting method only, and where the additional control function is limited to providing FULL-ON

Note 1 to entry: This device can include a very short controlled ramp time of a few cycles which contribute to limit the inrush current of the motor to the level of Table 9.

Note 2 to entry: See Figure 1.

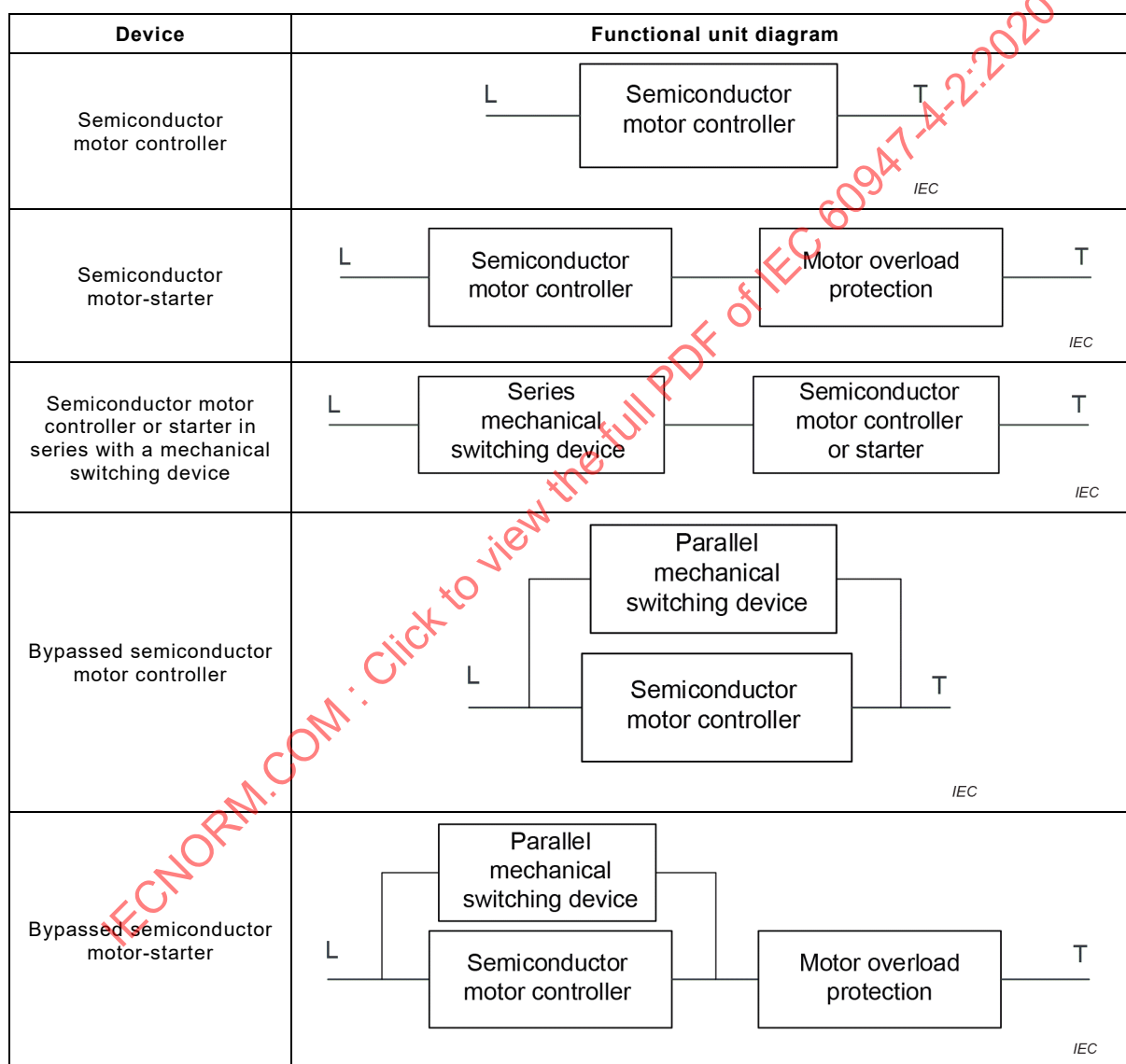
3.1.1.5**semiconductor motor-starter****soft-starter**

semiconductor motor controller with suitable overload protection, rated as a unit

Note 1 to entry: The term “soft-starter” is often used on the market to designate a semiconductor motor controller with or without overload protection but, in this document, it is a type of starter which by definition includes an overload protection.

3.1.1.6**direct-on-line semiconductor motor-starter****DOL semiconductor motor-starter**

direct-on-line semiconductor motor controller with suitable overload protection, rated as a unit

**Figure 1 – Semiconductor motor control devices**

3.1.2 Terms and definitions concerning semiconductor motor controllers and starters

3.1.2.1

current-limit function

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

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

3.1.2.2

manoeuvre

any deliberate operation that causes current changes which shall be characterized and controlled (for example jogging, braking)

Note 1 to entry: Starting is a mandatory manoeuvre that is recognized separately.

Note 2 to entry: Braking operations performed by the semiconductor motor controller or starter are considered to be a manoeuvre within the scope of this document.

3.1.2.3

controlled acceleration

control of motor performance while increasing motor speed by acting on the motor supply

3.1.2.4

controlled deceleration

control of motor performance while decreasing motor speed by acting on the motor supply

3.1.2.5

controlled running

control of motor performance by acting on the motor supply while the motor is running at normal speed (for example, energy saving)

3.1.2.6

prospective current

<circuit with respect to a switching device or a fuse> current that would flow in the circuit if each pole of the switching device or the fuse were replaced by a conductor of negligible impedance

Note 1 to entry: The method to be used to evaluate and to express the prospective current is to be specified in the relevant product standard.

[SOURCE: IEC 60947-1:2020, 3.7.5]

3.1.2.7

prospective locked rotor current

I_{LRP}

prospective current that would flow when the rated voltage is applied to the motor with a locked rotor

Note 1 to entry: The test current of I_{LRP} for overload capability is given by Table 9.

3.1.2.8

ON-state

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

3.1.2.9

FULL-ON

<state of controllers> condition of a controller when the controlling functions are set to provide normal full voltage excitation to the load

3.1.2.10**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 is given as the RMS value.

3.1.2.11**OFF-state**

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

3.1.2.12**OFF-state current**

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

3.1.2.13**operation**

<controller> transition from the ON-state to the OFF-state, or the reverse

3.1.2.14**operating cycle**

<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.

3.1.2.15**operating capability**

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

3.1.2.16**overload current profile**

current-time co-ordinate specifying the requirement to accommodate overload currents for a period of time

Note 1 to entry: See 5.3.5.2.

3.1.2.17**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

Note 1 to entry: See 6.1 e).

3.1.2.18**tripping operation**

<of a motor controller or starter> operation to establish and maintain an OFF-state (or open position in the case of series mechanical switching device) initiated by a control signal

3.1.2.19**phase loss sensitive overload relay or release**

multipole overload relay or release which operates in case of overload and also in case of loss of phase in accordance with specified requirements

3.1.2.20**under-current relay or release**

measuring relay or release which operates automatically when the current through it is reduced below a predetermined value

3.1.2.21

under-voltage relay or release

measuring relay or release which operates automatically when the voltage applied to it is reduced below a predetermined value

3.1.2.22

stall sensitive electronic overload relay

electronic overload relay which operates when the current has not decreased below a predetermined value for a specific period of time during start-up or when the relay receives the input indicating there is no rotation of the motor after a predetermined time in accordance with specified requirements

Note 1 to entry: Explanation of stall: rotor locked during start.

3.1.2.23

jam sensitive electronic overload relay

electronic overload relay which operates in the case of overload and also when the current has increased above a predetermined value for a specific period of time during run in accordance with specified requirements

Note 1 to entry: Explanation of jam: high overload occurring after the completion of starting which causes the current to reach the locked rotor current value of the motor being controlled.

3.1.2.24

inhibit time

time-delay period during which the tripping function of the relay is inhibited (may be adjustable)

3.1.2.25

ON-time

period of time during which the controller is on-load

Note 1 to entry: See the example in Figure F.1.

3.1.2.26

OFF-time

period of time during which the controller is off-load

Note 1 to entry: See the example in Figure F.1.

3.1.2.27

bypassed semiconductor motor controller

bypassed semiconductor motor-starter

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, tested and rated as a unit

Note 1 to entry: See rows 4 and 5 of Figure 1.

3.1.2.28

CO operation

breaking of the circuit by the SCPD resulting from closing the circuit by the equipment under test

3.1.2.29

O operation

breaking of the circuit by the SCPD resulting from closing the circuit on the equipment under test which is in the closed position

3.1.2.30**semiconductor motor controller power losses**

power consumed by the semiconductor motor controller or starter at FULL-ON at the maximum power rating

3.1.2.31**galvanic separation**

prevention of electric conduction between two electric circuits intended to exchange power and/or signals

Note 1 to entry: Galvanic separation can be provided e.g. by an isolating transformer or a opto-coupler.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001-07, 151-12-26]

3.1.3 Terms and definitions concerning safety aspects**3.1.3.1****abnormal operating condition**

temporary operating condition that is not a normal operating condition and is not a single fault condition of the equipment itself

Note 1 to entry: An abnormal operating condition is a temporary condition which can be introduced by the equipment or by a person and can result in a failure of a component, a device or a safeguard.

Note 2 to entry: This definition is used in the context of component failure risk analysis.

3.1.3.2**accessible part**

part which can be touched by means of the standard test finger

[SOURCE: IEC 60050-442:1998-11, 442-01-15, modified – removal of “a” at the beginning]

3.1.3.3**hazardous-live-part**

live part which, under certain conditions, can give a harmful electric shock

[SOURCE: IEC 60050-195:1998-08, 195-06-05]

3.1.3.4**limited energy source**

source that is designed and protected that, under both normal operating conditions and single fault conditions, the current that can be delivered is not hazardous with respect to fire hazard

3.1.3.5**protective impedance**

impedance connected between hazardous-live-parts and accessible conductive parts, of such value that the current, in normal use and under likely fault conditions, is limited to a safe value, and which is so constructed that its ability is maintained throughout the life of the equipment

[SOURCE: IEC 62477-1:2012, 3.42]

3.1.3.6**reasonably foreseeable misuse**

use of a product or system in a way not intended by the supplier, but which can result from readily predictable human behaviour

[SOURCE: ISO/IEC Guide 51:2014, 3.7, modified – Deletion of Notes to entry]

3.1.3.7

single fault condition

condition in which there is a fault of a single protection (but not a reinforced protection) or of a single component or a device

Note 1 to entry: If a single fault condition results in one or more other fault conditions, all are considered as one single fault condition.

Note 2 to entry: Reinforced protection is defined in IEC 60050-903:2013, 903-02-08.

[SOURCE: IEC Guide 104:2019-07, 3.8]

3.1.4 Alphabetical index of terms

	Reference
A	
abnormal operating condition	3.1.3.1
accessible part.....	3.1.3.2
B	
bypassed semiconductor motor controller	3.1.2.27
bypassed semiconductor motor-starter.....	3.1.2.27
C	
CO operation	3.1.2.28
controlled acceleration	3.1.2.3
controlled deceleration	3.1.2.4
controlled running	3.1.2.5
current-limit function	3.1.2.1
D	
direct-on-line semiconductor motor controller.....	3.1.1.4
DOL semiconductor motor controller.....	3.1.1.4
direct-on-line semiconductor motor-starter	3.1.1.6
DOL semiconductor motor-starter	3.1.1.6
F	
FULL-ON	3.1.2.9
G	
galvanic separation	3.1.2.31
H	
hazardous-live part	3.1.3.3
I	
inhibit time	3.1.2.24
J	
jam sensitive electronic overload relay	3.1.2.23
L	
limited energy source	3.1.3.4
M	
manoeuvre	3.1.2.2
minimum load current.....	3.1.2.10

O

O operation	3.1.2.29
OFF-state	3.1.2.11
OFF-state current	3.1.2.12
OFF-time	3.1.2.26
ON-state	3.1.2.8
ON-time	3.1.2.25
operating capability	3.1.2.15
operating cycle	3.1.2.14
operation	3.1.2.13
overload current profile	3.1.2.16

P

phase loss sensitive overload relay or release	3.1.2.19
prospective current	3.1.2.6
prospective locked rotor current	3.1.2.7
protective impedance	3.1.3.5

R

rating index	3.1.2.17
reasonably foreseeable misuse	3.1.3.6

S

semiconductor controller	3.1.1.2
semiconductor motor controller	3.1.1.3
semiconductor motor controller power losses	3.1.2.30
semiconductor motor-starter	3.1.1.5
semiconductor switching device	3.1.1.1
single fault condition	3.1.3.7
stall sensitive electronic overload relay	3.1.2.22
soft-starter	3.1.1.5

T

tripping operation	3.1.2.18
--------------------------	----------

U

under-current relay or release	3.1.2.20
under-voltage relay or release	3.1.2.21

3.2 Symbols and abbreviated terms

Symbol and abbreviated term	Description	Definition or occurrence
A_f	Final ambient temperature	9.3.3.3.4
C_f	Final case temperature	9.3.3.3.4
I_c	Current made and broken	Table 11
I_e	Rated operational current	5.3.2.3
I_F	OFF-state current after the blocking and commutating capability test	9.3.3.6.4
I_{init}	Initial test current	9.3.3.6.3
I_{LRP}	Prospective locked rotor current	3.1.2.7
I_O	OFF-state current before the blocking and commutating capability test	9.3.3.6.4
I_{Lm}	Maximum OFF-state current	5.3.2.5
I_q	Maximum conditional short-circuit test current	9.3.4.3.2
I_{lim}	Current setting of the current-limit function	8.2.4.1
I_{th}	Conventional free air thermal current	5.3.2
I_{the}	Conventional enclosed thermal current	5.3.2.2
I_u	Rated uninterrupted current	5.3.2.4
SCPD	Short-circuit protective device	5.8
U_c	Rated control circuit voltage	6.1
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 10
U_s	Rated control circuit supply voltage	6.1

4 Classification

Subclause 5.2 gives all data which could be used as criteria for classification.

5 Characteristics of semiconductor motor controllers and starters

5.1 Summary of characteristics

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

- type of equipment (5.2);
- rated and limiting values for main circuits (5.3);
- utilization category (5.4);
- control circuits (5.5);
- auxiliary circuits (5.6);
- characteristics of relays and releases (5.7);
- coordination with short-circuit protective devices (5.8).

For information exchange in electronic format, e.g. electronic catalogue, IEC 62683-DB gives the data format of the essential characteristics of motor-starters, contactors and their accessories.

5.2 Type of equipment

5.2.1 Kind of equipment

The type of semiconductor controllers and starters shall be stated in the following terms:

- a) Type of semiconductor motor controller
 - semiconductor motor controller; or
 - semiconductor motor-starter: with suitable overload protection, rated as a unit
- b) Bypassed semiconductor motor controller or starter, if relevant
- c) Type of control (not limited to)
 - FULL-ON;
 - controlled acceleration;
 - controlled deceleration;
 - current-limit function.

5.2.2 Number of poles

- Number of main poles;
- Number of main poles where the operation is controlled by a semiconductor switching element.

5.2.3 Kind of current

AC only.

5.2.4 Interrupting medium (air, vacuum, etc.)

Applicable only to mechanical switching devices used in controllers and starters.

5.2.5 Operating conditions of the equipment

5.2.5.1 Method of operation

For example:

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

5.2.5.2 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).

5.2.5.3 Method of connecting

For example (see Figure 2):

- motor in delta, thyristors in series with a winding;
- motor in star, thyristors in delta;
- motor in delta, thyristors connected between winding and supply.

5.3 Rated and limiting values for main circuits

5.3.1 Rated voltages

5.3.1.1 Rated operational voltage (U_e)

Subclause 5.3.1.1 of IEC 60947-1:2020 applies with the following addition.

The rating of AC 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 5.3.1.2 of IEC 60947-1:2020 applies.

5.3.1.3 Rated impulse withstand voltage (U_{imp})

Subclause 5.3.1.3 of IEC 60947-1:2020 applies.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

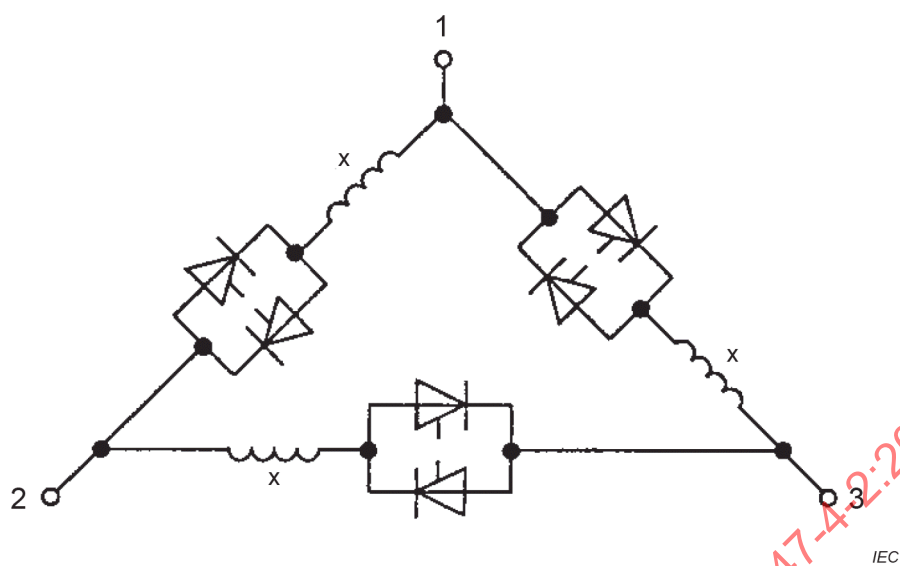


Figure 2a – Motor in delta – Thyristors in series with a winding

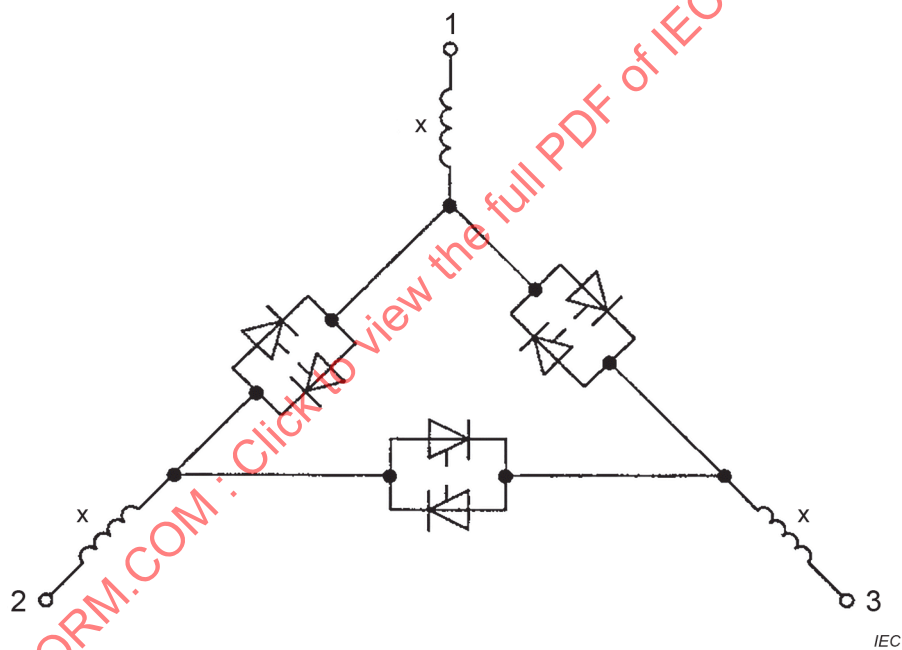
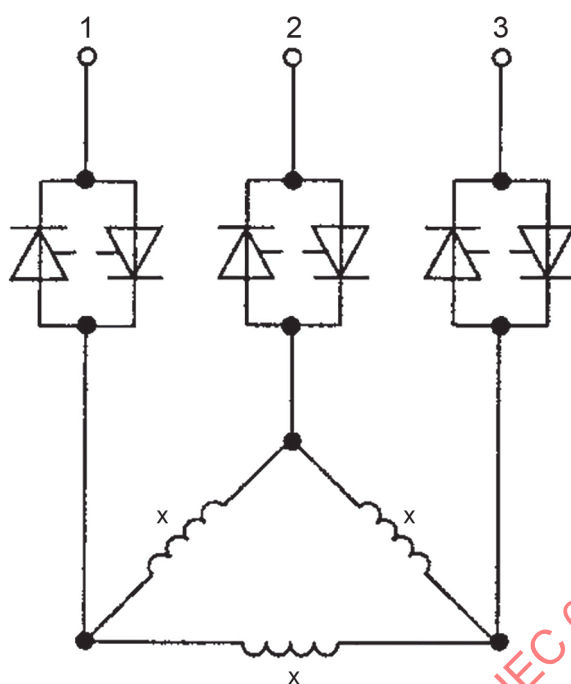


Figure 2b – Motor in star – Thyristors in delta



IEC

Figure 2c – Motor in delta – Thyristors connected between winding and supply

Figure 2 – Connecting methods

5.3.2 Currents

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

Subclause 5.3.2.1 of IEC 60947-1:2020 applies.

5.3.2.2 Conventional enclosed thermal current (I_{the})

Subclause 5.3.2.2 of IEC 60947-1:2020 applies.

5.3.2.3 Rated operational current (I_e)

The rated operational current, I_e , of controllers and starters 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 duty cycle values and sequences (see 5.3.4), the utilization category (see 5.4), the normal load and overload characteristics (see 5.3.5), and the type of protective enclosure, if any.

The indication of a rated operational current may be replaced or supplemented by an indication of the maximum rated power output, at the rated operational voltage considered, of the motor for which the equipment is intended.

NOTE Annex G gives values concerning the relationship between rated operational currents and rated operational powers.

5.3.2.4 Rated uninterrupted current (I_u)

Subclause 5.3.2.4 of IEC 60947-1:2020 applies.

5.3.2.5 Maximum OFF-state current (I_{Lm})

The maximum OFF-state current (I_{Lm}) is the maximum current flowing through the main circuit of the controller when it is in the OFF state, in the test condition of 9.3.3.6.3.

5.3.3 Rated frequency

Subclause 5.3.3 of IEC 60947-1:2020 applies.

5.3.4 Duty cycle values and sequences

5.3.4.1 Duty cycle values and symbols

For the purpose of this document, the duty cycle is expressed by two symbols, F and S . These describe the duty, and also set the time that shall 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 as follows:

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

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

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

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

5.3.4.2 Duty cycle sequences

Two duty cycle sequences are defined in relation with the suffix of the designation of a utilisation category as follows:

- Sequence A: complete duty cycles, where the semiconductor motor controller or starter is carrying the motor current during all the phases of “starting”, “running” and “stopping” of the motor load. It includes the capability to continuously carry the rated current until and after thermal equilibrium;
- Sequence B: starting and stopping duty cycles, where the semiconductor motor controller or starter is carrying the motor current only during the phases of “starting” and/or “stopping” of the motor load.

5.3.5 Normal load and overload characteristics

5.3.5.1 General

Subclause 5.3.5 of IEC 60947-1:2020 applies with the following additions.

5.3.5.2 Overload current profile

The overload current profile gives the current-time co-ordinates 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 7, and represents the maximum value of operating current due to starting, operating, or manoeuvring under overload conditions. $X = I_T/I_e$ as tested according to Table 10 when no current limit function is provided.

Deliberate overcurrents not exceeding 10 cycles (for example boost, kickstart, etc.), 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 controlled overload currents during starting, operating, and manoeuvring. See Table 7.

For a starter, T_x is the minimum operating time allowed by the tolerances of the overload relay.

5.3.5.3 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

- the rated operational voltage (see 5.3.1.1);
- the rated operational current (see 5.3.2.3);
- the duty cycle values and sequences (see 5.3.4);
- the overload current profile (see 5.3.5.2);
- the utilization category (see 5.4);
- the availability of a current-limit function;
- the availability of a motor inrush current limiting function.

Requirements are given in 8.2.4.1.

5.3.5.4 Starting, stopping and manoeuvring characteristics

5.3.5.4.1 Starting characteristics of squirrel cage and hermetic refrigeration motors

- a) One direction of rotation with the inclusion of phase-control capability to provide any combination of controlled acceleration to normal speed, controlled deceleration to standstill, or an occasional manoeuvre without de-energizing the controller (AC-3a, AC-8a).
- b) One direction of rotation with the inclusion of phase-control capability to provide controlled acceleration to normal speed. Controllers and starters are rated for starting and stopping duty cycles only (AC-3b, AC-8b); for example, after starting, the motor may be connected into a circuit that bypasses the semiconductor motor controller or starter.

Two directions of rotation may be accomplished by reversing the connections to the controller or motor by means that are beyond the scope of this document, but are covered by the relevant product standard for the selected means.

Two directions of rotation may also be accomplished by phase reversing within the controller or starter. The requirements for this operation will vary with each application. Therefore, this is subject to agreement between manufacturer and user.

Due to the control capability of controllers and starters, the current during starting, stopping, and any operation will differ from the conventional values of the prospective locked rotor current listed in Table 9.

5.3.5.4.2 Starting characteristics of rheostatic rotor starters with controllers energizing the stator (AC-2a, AC-2b)

Starters can be used to provide reduced voltage excitation to the stator windings of a slip ring motor, and thereby reduce the number of switching steps required in the rotor circuit. For most applications, one or two starting steps are adequate depending upon load torque and inertia, and the severity of start required.

5.3.6 Rated conditional short-circuit current

Subclause 5.3.6.4 of IEC 60947-1:2020 applies.

5.3.7 Semiconductor motor controller power losses

5.3.7.1 General

The power consumption of the semiconductor motor controller or starter may be stated by the manufacturer and is determined by calculating the power losses of the power semiconductor components.

A motor controller consists of two or three power semiconductor controlled phases and the semiconductor controlling device. These power semiconductors are bypassed or not bypassed after run up of the motor.

The power semiconductor losses during start-up (and soft stop or braking mode) occur for a very short period of time (seconds) and are therefore not considered.

5.3.7.2 Power semiconductor losses (main circuit)

For continuous operation the power semiconductor losses can be calculated as follows:

a) Formula for non-bypassed operation

$$P_{vnb} = n \cdot I_e \cdot 1V$$

with:

n number of controlled phases,

I_e rated operational current,

P_{vnb} power losses non-bypassed operation,

1V one volt as typical voltage drop of a power semiconductor.

NOTE 1 The typical factor of 1 V can be changed appropriately by the manufacturer.

b) Formula for bypassed operation

$$P_{vb} = n \cdot 0,1 \cdot I_e \cdot 1V = 0,1 \cdot P_{vnb}$$

with (in addition to the key of the previous formula):

P_{vb} power losses in bypassed operation,

NOTE 2 The factor of 0,1 is based on the typical voltage drop of the bypass contact in comparison to the voltage drop of the semiconductor.

5.3.7.3 Semiconductor controlling device losses

The power consumption of semiconductor controlling device, including the fans if any, is obtained by measurement according to 9.3.3.2.

5.4 Utilization category

5.4.1 General

Subclause 5.4 of IEC 60947-1:2020 applies, with the following addition.

For controllers and starters, the utilization categories as given in Table 1 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 1) is characterized by the values of the currents, voltages, power-factors and other data of Table 2, Table 7, Table 8, Table 9 and Table 10, and by the test conditions specified in this document.

The utilization categories AC-2a, AC-3a and AC-8a (with a-suffix) are defined for the complete duty cycles according to 5.3.4.2a).

The utilization categories AC-2b, AC-3b and AC-8b (with b-suffix) are defined for the starting and stopping duty cycles according to 5.3.4.2b).

5.4.2 Assignment of ratings based on the results of tests

A designated controller or starter 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 2;
- 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 2. Only values of X lower than the tested value of X may be assigned without testing.

Table 1 – Utilization categories

Specific utilisation category	Harmonised utilization category ^a	Typical motor load	Duty cycle sequence ^b
AC-52a	AC-2a	Slip ring motor	A ^c
AC-52b	AC-2b		B ^d
AC-53a	AC-3a	Squirrel-cage motors	A ^c
AC-53b	AC-3b		B ^d
AC-58a	AC-8a	Hermetic refrigerant compressor	A ^c
AC-58b	AC-8b		B ^d
^a The new utilisation categories according to Annex A of IEC 60947-1:2020 are proposed to replace the specific ones but the specific utilisation categories are remaining valid.			
^b Includes the whole starter or controller.			
^c Sequence A as complete.			
^d Sequence B as starting and stopping.			

Table 2 – Relative levels of severity

Severity level	Utilization category	Overload current profile ^{a, c}	ON-time/OFF-time requirements ^b
Most severe	AC-2a	Highest value of $(XI_e)^2 \cdot T_x$	Highest value of $F \cdot S$
	AC-3a		
	AC-8a		
	AC-2b	Highest value of $(XI_e)^2 \cdot T_x$	Lowest value of OFF-time
	AC-3b		
	AC-8b		
a When the highest value of $(XI_e)^2 \cdot T_x$ occurs at more than one value of XI_e, then the highest value of XI_e applies. b When the highest value of $F \cdot S$ occurs at more than one value of S, then the highest value of S applies. c When the highest value of $(XI_e)^2 \cdot T_x$ occurs at more than one value of OFF-time, then the lowest value of OFF-time applies.			

5.5 Control circuits

Subclause 5.5.1 of IEC 60947-1:2020 applies with the following additions.

The list of characteristics given in 5.5.1 of IEC 60947-1:2020 shall be completed by:

- limited energy (if the source is in accordance with 8.1.14);
- SELV (PELV) supply (in accordance with Annex N of IEC 60947-1:2020).

NOTE In the USA and Canada, control circuits are characterised as Class 2 sources as defined in NFPA 70, National Electrical Code and CSA C22.1, Canadian Electrical Code (CE Code).

5.6 Auxiliary circuits

Subclause 5.6 of IEC 60947-1:2020 applies, with the following additions.

Electronic auxiliary circuits perform useful functions (for example monitoring, data acquisition, etc.) that are not necessarily functions involved with the intended performance characteristics.

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 motor-starters, and intended to be compatible with PLCs, shall fulfil the requirements of Annex S of IEC 60947-1:2020.

5.7 Characteristics of relays and releases (overload relays)

NOTE In the remainder of this document, the words "overload relay" will be taken to apply equally to an overload relay or an overload release, as appropriate.

5.7.1 Summary of characteristics

The characteristics of relays and releases shall be stated in the following terms, whenever applicable:

- types of relay or release (see 5.7.2);
- characteristic values (see 5.7.3);
- designation and current settings of overload relays (see 5.7.4);
- time-current characteristics of overload relays (see 5.7.5);
- influence of ambient air temperature (see 5.7.6).

5.7.2 Types of relay or release

- a) Under-voltage and under-current opening relay or release.
- b) Overload time-delay relay, the time-lag of which is
 - 1) substantially independent of previous load;
 - 2) dependent on previous load;
 - 3) dependent on previous load and also sensitive to phase loss.
- c) Instantaneous over-current relay or release (for example jam sensitive).
- d) Other relays or releases (for example control relay associated with devices for the thermal protection of the starter).
- e) Stall sensitive electronic overload relay or release.

5.7.3 Characteristic values

- a) Release with shunt coil, under-voltage (under-current), over-voltage (instantaneous over-current), current or voltage asymmetry and phase reversal opening relay or release:
 - rated voltage (current);
 - rated frequency;
 - operating voltage (current);
 - operating time (when applicable);
 - inhibit time (when applicable).
- b) Overload relay:
 - designation and current settings (see 5.7.4);
 - rated frequency, when necessary (for example in the case of a current transformer operated overload relay);
 - time-current characteristics (or range of characteristics), when necessary;
 - operating time of ground/earth fault electronic overload relays according to Table T.1 of IEC 60947-1:2020 if applicable;
 - trip class according to classification in Table 4, or the value of the maximum tripping time, in seconds, under the conditions specified in 8.2.1.5.1.1.1 and Table 4, column D, when this time exceeds 40 s;
 - nature of the relay: thermal, electronic or electronic without thermal memory; electronic relay without thermal memory shall be marked ~~Thm~~;
 - type designation for overload relays with extended functions (see Annex T of IEC 60947-1:2020) if applicable;
 - nature of the reset: manual or manual/automatic; in case of manual/automatic, the set position shall be indicated;
 - tripping time of overload relays class 10A where higher than 2 min at 0 °C or below (see 8.2.1.5.1.1.1, item c).
- c) Release with residual current sensing relay:
 - rated current;
 - operating current;
 - operating time or time-current characteristic according to Table T.1 of IEC 60947-1:2020;
 - inhibit time (when applicable);
 - type designation (see Annex T of IEC 60947-1:2020).

Table 3 – Trip classes of overload relays

Trip class	Tripping time T_p under the conditions specified in 8.2.1.5.1.1 and Table 4, column D ^a	Tripping time T_p under the conditions specified in 8.2.1.5.1.1 and Table 4, column D for tighter tolerances (tolerance band E) ^a
	s	s
2	–	$T_p \leq 2$
3	–	$2 < T_p \leq 3$
5	$0,5 < T_p \leq 5$	$3 < T_p \leq 5$
10A	$2 < T_p \leq 10$	–
10	$4 < T_p \leq 10$	$5 < T_p \leq 10$
20	$6 < T_p \leq 20$	$10 < T_p \leq 20$
30	$9 < T_p \leq 30$	$20 < T_p \leq 30$
40	–	$30 < T_p \leq 40$
NOTE 1 Depending on the nature of the relay, the tripping conditions are given in 8.2.1.5.		
NOTE 2 The lower limiting values of T_p are selected to allow for differing heater characteristics and manufacturing tolerances.		
^a The manufacturer shall add the letter E to trip classes to indicate compliance with the band E.		

5.7.4 Designation and current settings of overload relays

Overload relays are designated by their current setting (or the upper and lower limits of the current setting range, if adjustable) and their trip class.

The current setting (or current setting range) shall be marked on the relays.

However, if the current setting is influenced by the conditions of use or other factors which cannot readily be marked on the relay, then the relay or any interchangeable parts thereof (for example heaters, operating coils or current transformers) shall carry a number or an identifying mark which makes it possible to obtain the relevant information from the manufacturer or his catalogue or, preferably, from data furnished with the starter.

In the case of current transformer operated overload relays, the marking may refer either to the primary current of the current transformer through which they are supplied or to the current setting of the overload relays. In either case, the ratio of the current transformer shall be stated.

5.7.5 Time-current characteristics of overload relays

Typical time-current characteristics shall be given in the form of curves supplied by the manufacturer. These curves shall indicate how the tripping time, starting from the cold state (see 5.7.6), varies with the current up to a value of at least maximum ($X \times I_e$) value. The manufacturer shall be prepared to indicate, by suitable means, the general tolerances applicable to these curves and the conductor cross-sections used for establishing these curves (see 9.3.3.6.5, item c)).

It is recommended that the current be plotted as abscissae and the time as ordinates, using logarithmic scales. It is recommended that the current be plotted as multiples of the setting current and the time in seconds on the standard graph sheet detailed in IEC 60269-1.

5.7.6 Influence of ambient air temperature

The time-current characteristics (see 5.7.5) refer to a stated value of ambient air temperature and are based on no previous loading of the overload relay (i.e. from an initial cold state). This value of the ambient air temperature shall be clearly given on the time curves; the preferred values are +20 °C or +40 °C.

The overload relays shall be able to operate within the ambient air temperature range of 0 °C to +40 °C, and the manufacturer shall be prepared to state the effect of variation in ambient air temperature on the characteristics of overload relays.

5.8 Coordination with short-circuit protective devices (SCPD)

Controllers and starters are characterized by the type, ratings, and characteristics of the SCPD to be used to provide overcurrent discrimination between starter and SCPD, and adequate protection of controllers and starters against short-circuit currents.

Requirements are given in 8.2.5 of this document and in 5.8 of IEC 60947-1:2020.

6 Product information

6.1 Nature of information

The following information shall be given by the manufacturer:

Identification

- a) the manufacturer's name or trademark;
- b) type designation or serial number;
- c) number of this document;

Characteristics, basic rated values and utilization

- d) rated operational voltages (5.3.1.1);
- e) rated operational currents, corresponding utilization category (5.4), overload current profile (5.3.5.2), and duty cycle value (5.3.4.1) or OFF-time, comprising the rating index;
 - The prescribed format for AC-2a, AC-3a, AC-8a is shown by these examples:
 100 A: AC-3a: $6 \times I_e$ -6 s: 60 %-1/h
 This indicates 100 A current rating for general applications with squirrel cage motors. The device can accommodate 600 A for 6 s; 60 % on-load factor; one standard operating cycle per hour.
 - The prescribed format for AC-2b, AC-3b, AC-8b is shown by the example:
 100 A: AC-3b: $3 \times I_e$ -52s: 1 440 s
 This indicates 100 A current rating for starting only. The device can accommodate 300 A for 52 s; the OFF-time shall not be less than 1 440 s before any subsequent start may be initiated.
- f) maximum OFF-state current;
- g) either the value of the rated frequency 50/60 Hz, or other rated frequencies for example 16 2/3 Hz, 400 Hz;

Safety and installation

- h1) rated insulation voltage (5.3.1.2);
- h2) galvanic separation between poles if applicable;
- i) rated impulse withstand voltage (5.3.1.3);

- j) IP code according to Annex C of IEC 60947-1:2020;
- k) pollution degree (7.1.3.2);
- l1) rated conditional short-circuit current and type of coordination of the controller or starter, and the type, current rating and characteristics of the associated SCPD (see 5.8);
- l2) terminal clamping unit characteristics including:
 - length of insulation to be removed before insertion of the conductor into the terminal;
 - maximum number of conductors which may be clamped.

For non-universal screwless terminals:

- "s" or "sol" for terminals declared for rigid-solid conductors;
- "r" for terminals declared for rigid (solid and stranded) conductors;
- "f" for terminals declared for flexible conductors.

NOTE In the United States, "str" is used for identifying terminals declared for stranded conductors.

Control circuits

- m) rated control circuit voltage U_c , nature of current and rated frequency, and, if necessary, rated control circuit 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 60947-1:2020) for examples of control circuit configurations);

Auxiliary circuits

- n) nature and ratings of auxiliary circuits (5.6);

Overload relays and releases

- o) characteristics according to 5.7.2, 5.7.5 and 5.7.6;
- p) characteristics according to 5.7.3 and 5.7.4;

EMC immunity and emission levels

- q1) the immunity levels attained and the specific requirements necessary to maintain compliance (8.3.2);
- q2) the equipment class and the specific requirements necessary to maintain compliance (8.3.3);
- q3) if an external EMC filter is required to fulfil the emission levels given in Table 17, it shall be specified in the catalogue and in the instruction manual.

Additional information

- r) reference of dedicated wiring accessories which can be used for wiring the semiconductor motor controller or starter;
- s) type of equipment according to 5.2;
- t) maximum permissible altitude of the installation site, if greater than 1 000 m;
- u1) pole impedance (Z) of the parallel mechanical switching device of a bypassed semiconductor motor controller or starter according to IEC 60947-4-1;
- u2) material declaration according to Annex W of IEC 60947-1:2020;
- u3) semiconductor motor controller power losses.

6.2 Marking

Subclause 6.2 of IEC 60947-1:2020 applies to controllers and starters, with the following additions.

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 items c), k) (if the degree of protection is different than IP00) and q) in 6.1 shall be marked on the equipment; time-current characteristics (or range of characteristics) may be provided in the manufacturer's published literature.

6.3 Instructions for installation, operation, maintenance, decommissioning and dismantling

Subclause 6.3 of IEC 60947-1:2020 applies with the following addition.

The instructions shall also cover the dedicated wiring accessories.

The manufacturer of a semiconductor starter incorporating an automatic reset overload relay capable of being connected to enable automatic restarting shall provide information with the starter to alert the user to the possibility of automatic restarting.

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

- in the event of a short-circuit;
- specific mode of operation, if any;
- in case of mechanical switching devices used in semiconductor motor controller or starter (see 8.2.1.6);
- in the event of temperature-rise above 50 K of the metallic radiator surface of the device.

If the construction requires energization by an external source that is not a limited energy source as defined in 8.1.14, the manufacturer shall provide the appropriate information for short-circuit and overcurrent protection of the ports.

For each relevant potential hazard, the manufacturer shall provide safety signs, graphical symbols or safety notes of the hazard for example by using e.g. IEC 60417-5036:2002. Signal words are given by ISO 3864-2.

NOTE ISO/IEC 82079-1 provides guidance for developing safety instructions.

The instruction shall also provide information about the installation of a disconnecting means where maintenance activities needs to be performed downstream to the semiconductor controller or starter.

6.4 Environmental information

Subclause 6.4 of IEC 60947-1:2020 applies.

Material declarations, if any, shall be provided according to Annex W of IEC 60947-1:2020.

NOTE The future publication IEC TS 63058 will give the method for assessing the environmental impact of switchgear and controlgear.

7 Normal service, mounting and transport conditions

7.1 Normal service conditions

7.1.1 Ambient air temperature

Subclause 7.1.1 of IEC 60947-1:2020 applies with the exception that all references to $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ are replaced by $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

7.1.2 Altitude

When rated above 1 000 m, the manufacturer shall specify the maximum altitude taking into account:

- thermal limitation, if rated for operation above 1 000 m;
- insulation coordination considerations, if rated for operation above 2 000 m.

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

7.1.3 Atmospheric conditions

7.1.3.1 Humidity

Subclause 7.1.3.1 of IEC 60947-1:2020 applies.

7.1.3.2 Degrees of pollution

Unless otherwise stated by the manufacturer, controllers and starters are intended for use in pollution degree 3 environmental conditions, as defined in 7.1.3.2 of IEC 60947-1:2020. However, other pollution degrees may be considered to apply, depending upon the micro-environment.

7.1.4 Shock and vibrations

Subclause 7.1.4 of IEC 60947-1:2020 applies with the following addition.

Standard conditions of vibration are defined in footnote b of Table Q.1 of IEC 60947-1:2020.

7.2 Conditions during transport and storage

Subclause 7.2 of IEC 60947-1:2020 applies.

7.3 Mounting

Subclause 7.3 of IEC 60947-1:2020 applies.

Rail mounting shall be specified according to IEC 60715, when relevant.

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 8.1.1 of IEC 60947-1:2020 applies with the following addition.

Measures shall be provided to reduce the likelihood of injury and property damage, under installation, maintenance, normal operation conditions, abnormal operation conditions and reasonably foreseeable misuses. The requirements of this document are intended to provide these measures.

Protection against hazards caused by the electronic circuits shall be maintained under normal and single fault conditions, as specified in this document.

Components used in the construction of the equipment which are compliant with a relevant IEC product standard do not require separate evaluation. Components or assemblies of components, for which no relevant product standard exists, shall be tested according to the requirements of this document. Where mechanical switching devices are used, they should meet the requirements of their own IEC product standard, and the additional requirements of this document.

Where the product is intended to be used together with specific auxiliary equipment and dedicated wiring accessories, the safety evaluation and test shall include this auxiliary equipment and accessories unless it can be shown that it does not affect the safety of any equipment.

The accessible part of the device and especially the operating means shall not present sharp edges and corners which can injure the operator.

The user manual shall give details of all safety-relevant measures intended for the user. Clear warning shall be provided in the user manual where adjustments or settings could lead to a hazardous situation.

The setting of any automatic resettable overload release needs to be identified in the user manual as a specific safety warning.

Annex O of IEC 60947-1:2020 should be considered carefully especially for substitution or reduction in use of hazardous substances or if not possible for providing measures to prevent emission and contact with them.

8.1.2 Materials

8.1.2.1 General materials requirements

Subclause 8.1.2.1 of IEC 60947-1:2020 applies with the following additions.

Parts of insulating materials located in electrical circuits sourced from limited energy sources according to 8.1.14 are not required to comply with the requirements of this subclause.

NOTE Fire hazard aspects are detailed in IEC TR 63054.

8.1.2.2 Glow wire testing

Subclause 8.1.2.2 of IEC 60947-1:2020 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 of 9.2.2.1 in IEC 60947-1:2020 at a test temperature of 850 °C.

8.1.2.3 Test based on flammability category

Subclause 8.1.2.3 of IEC 60947-1:2020 applies.

8.1.3 Current-carrying parts and their connections

Subclause 8.1.3 of IEC 60947-1:2020 applies with the following addition.

Wiring that is subject to movement or flexing during its intended use, or during mechanical maintenance, such as wiring from a stationary part to a part mounted on a hinged cover or door, shall be routed and secured so that the wire is not damaged during opening and closing of the door or cover.

8.1.4 Clearances and creepage distances

Subclause 8.1.4 of IEC 60947-1:2020 applies with the following additions.

Clearance and creepage distances within the circuits sourced from limited energy sources as defined in 8.1.14, including those on printed wiring boards (PWBs), are not required to comply with the requirements of 8.1.4 of IEC 60947-1:2020.

Where SELV and PELV circuits are accessible, they shall be separated from other hazardous-live-part according to the requirements of Annex N for protective impedance in addition to Annex N of IEC 60947-1:2020.

NOTE 1 If some circuits are only accessible under maintenance or similar conditions, they can, depending on the risk level (severity of harm and the probability of occurrence), be considered under normal service conditions (see 6.1), and use only basic insulation. Accessible parts can be determined using test probes according to IEC 61032.

NOTE 2 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

8.1.8.1 General

Subclause 8.1.8 of IEC 60947-1:2020 applies with the following additional requirements.

8.1.8.2 Terminal identification and marking

Subclause 8.1.8.4 of IEC 60947-1:2020 applies with additional requirements as given in Annex A and the following.

Equipment may be provided with means for connection to earth for functional purposes only (as distinct from protective earth). They shall be marked or provided with other identification in accordance with IEC 60445.

8.1.9 Additional requirements for equipment provided with a neutral pole

Vacant.

8.1.10 Provisions for protective earthing

Subclause 8.1.10 of IEC 60947-1:2020 applies.

8.1.11 Enclosures for equipment

Subclause 8.1.11 of IEC 60947-1:2020 applies.

8.1.12 Degrees of protection of enclosed equipment

Subclause 8.1.12 of IEC 60947-1:2020 applies.

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

Subclause 8.1.13 of IEC 60947-1:2020 applies.

8.1.14 Limited energy source

8.1.14.1 General

A limited energy source can be implemented as a secondary circuit derived from circuits connected to the hazardous-live-part with the following separation means:

- a) galvanic separation;
- b) current limiting impedance.

NOTE Class 2 sources as defined in NFPA 70, National Electrical Code and CSA C22.1 Canadian Electrical Code (CE Code) have the same electrical output characteristics as limited energy sources with galvanic separation.

8.1.14.2 Limited energy source with galvanic separation

A limited energy source with galvanic separation incorporates an isolating component such as a transformer between the primary circuit and the limited energy output. It shall comply with one of the following requirements:

- a) the output is inherently limited in compliance with Table 19; or
- b) a linear or non-linear impedance limits the output in compliance with Table 19. If a positive temperature coefficient (PTC) device (e.g. PTC thermistor) is used, it shall pass the applicable tests specified in IEC 60730-1; or
- c) a regulating network limits the output in compliance with Table 19, both with and without a single fault in the regulating network; or
- d) an over-current protective device is used and the output is limited in compliance with Table 20.

Where an over-current protective device is used, it shall be a fuse or non-adjustable electromechanical device.

Compliance to determine the maximum available power is checked by test of 9.2.4.

In the case of external power supplies without overcurrent protective devices, they shall not exceed the values given in Table 19. In case of external power supplies with over-current protective devices, they shall not exceed the values given in Table 20.

Table 19 – Limits for limited energy sources without an over-current protective device

Output voltage ^a		Output current ^{b, d}	Maximum power ^c
U_{oc}			
V AC	V DC	I_{sc} A	S VA
≤ 30 RMS	≤ 30 V	≤ 8	100
-	$30 < U_{oc} \leq 60$ ^e	$\leq \frac{150}{U_{oc}}$	100

NOTE This table will be moved into a future revision of IEC 60947-1 and is therefore numbered differently to the other tables in this document.

^a U_{oc} : Output voltage measured in accordance with all load circuits disconnected. Voltages are for substantially sinusoidal alternating current and ripple-free direct current. For non-sinusoidal alternating current and direct current with ripple greater than 10 % of the peak, its peak value shall not exceed 42,4 V.

^b I_{sc} : Maximum output current with any non-capacitive load, including a short-circuit.

^c S (VA): Maximum output apparent power with any non-capacitive load as determined by 9.2.4.

^d Measurement of I_{sc} is made 5 s after application of the load if protection is by an electronic circuit or a positive temperature coefficient device (e.g. PTC thermistor), and 60 s in other cases.

^e In the USA, the limit is 60 V DC continuous or direct current switching outside of 10 to 200 Hz, 24,8 V DC switching at 10 to 200 Hz.

Table 20 – Limits for limited energy sources with an over-current protective device

Output voltage ^a		Output current ^{b, d}	Maximum power ^{c, d}	Current rating of over-current protective device ^e
U_{oc}				
V AC	V DC	I_{sc} A	S VA	A
≤ 20	≤ 20	$\leq \frac{1000}{U_{oc}}$	250	≤ 5,0
$20 < U_{oc} \leq 30$	$20 < U_{oc} \leq 30$			$\leq \frac{100}{U_{oc}}$
-	$30 < U_{oc} \leq 60$ ^f			$\leq \frac{100}{U_{oc}}$

NOTE 1 The reason for making measurements with over-current protective devices bypassed according to ^d, is to determine the amount of energy that is available to cause possible overheating during the operating time of the over-current protective devices.

NOTE 2 This table will be moved into a future revision of IEC 60947-1 and is therefore numbered differently to the other tables in this document.

^a U_{oc} : Output voltage measured with all load circuits disconnected. Voltages are for substantially sinusoidal alternating current and ripple free direct current. For non-sinusoidal alternating current and for direct current with ripple greater than 10 % of the peak, its peak value shall not exceed 42,4 V.

^b I_{sc} : Maximum output current with any non-capacitive load, including a short-circuit, measured 60 s after application of the load.

^c S (VA): Maximum output apparent power with any non-capacitive load measured 60 s after application of the load as determined by 9.2.4.

^d Current limiting impedances remain in the circuit during measurement, but over-current protective devices are bypassed.

^e The current ratings of over-current protective devices that break the circuit within 120 s with a current equal to 210 % of the current rating specified in the table.

^f In the USA, the limit is 60 V DC continuous or direct current switching outside of 10 to 200 Hz, 24,8 V DC switching at 10 to 200 Hz.

8.1.14.3 Limited energy source with current limiting impedance

A limited energy source with current limiting impedance has the following characteristics:

- a) the output voltage is limited in compliance with Table 21, and
- b) a linear or non-linear impedance limits the output in compliance with Table 21, both with and without a single fault.

A limited energy source with current limiting impedance may be derived from either mains or from a galvanically separated circuit e.g. the secondary of a transformer.

Table 21 – Limits for limited energy source with current limiting impedance

Output voltage ^a		Output current ^{b, d}	Maximum power ^c
U_{oc}			
V AC	V DC	I_{sc} A	S VA
≤ 30 V RMS.	≤ 30 V	0,5	15
NOTE This table will be moved into a future revision of IEC 60947-1 and is therefore numbered differently to the other tables in this document.			
^a U_{oc} : Output voltage measured in accordance with all load circuits disconnected. Voltages are for substantially sinusoidal alternating current and ripple-free direct current. For non-sinusoidal alternating current and direct current with ripple greater than 10 % of the peak, its peak value shall not exceed 42,4 V.			
^b I_{sc} : Maximum output current measured across the output of the limited energy source.			
^c S (VA): Maximum output apparent power as determined by 9.2.4.			
^d Measurement of I_{sc} is made 5 s after application of the short-circuit.			

8.1.15 Stored charge energy circuit

Parts including stored charge (capacitors) that are accessible (such as coil terminal) or removable for servicing (such as coil replacement), installation, or disconnection shall present no risk of electric energy hazard after disconnection.

Capacitors connected to accessible hazardous-live-parts shall be discharged to an energy level less than 0,5 mJ within 5 s after the removal of power. Otherwise, a readily visible warning notice shall be provided on the product, indicating the time of discharge to the limit values or a preferable method how to discharge the capacitor before touching the connecting parts.

8.1.16 Fault and abnormal conditions

The product shall be designed to avoid operating modes or sequences that can cause a fault condition or component failure leading to a hazard, unless other measures to prevent the hazard are provided by the installation and are described in the installation information provided with the product. The requirements in this clause also apply to abnormal operating conditions as applicable.

Circuit analysis or testing shall be performed to determine whether or not failure of a particular component (including insulation systems) would result in hazard.

This analysis shall include situations where a failure of the component (including overheating of the power semiconductor) or the insulation (basic and supplementary) would result in:

- an impact on the risk of electric shock;
- a risk of degradation resulting in emission of flame, burning particles or molten metal of the fire;
- overheating of the power semiconductor.

The analysis or testing shall include the effect of short-circuit and open-circuit conditions of the component. Testing is necessary unless analysis can conclusively show that, in short-circuit and open circuit conditions, no electrical shock and fire hazard will result from failure of the component. Compliance shall be checked by the test of 9.2.5.

Components evaluated for their reliability according to relevant product standards are considered to meet these requirements and do not need any further investigation, if tested under conditions that fulfil the conditions for which the product is designed.

8.1.17 Short-circuit and overload protection of ports

Where the power source for a signal port or power port that is external to the device does not comply with the requirements for limited energy sources in 8.1.14, the product shall not present a hazard under short-circuit or overload conditions. Instructions for the installation of external overcurrent protection shall be made available in accordance with 6.3.

Compliance shall be checked by inspection and, where necessary, by simulation of single fault conditions.

8.2 Performance requirements

8.2.1 Operating conditions

8.2.1.1 General

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

8.2.1.1.1 Controllers and starters shall be so constructed that they

- a) are trip free;
- b) can be caused to return to the OPEN or OFF-state by the means provided when controlled running and at any time during the starting sequence or when performing any manoeuvre.

Compliance is verified in accordance with 9.3.3.6.3.

8.2.1.1.2 Controllers and starters shall not malfunction due to mechanical shock or electromagnetic interference caused by operation of its internal devices.

Compliance is verified in accordance with 9.3.3.6.3.

8.2.1.1.3 The moving contacts of the series mechanical switching device in semiconductor motor controllers and starters shall be mechanically coupled so that all poles make and break substantially together, whether operated manually or automatically.

8.2.1.2 Limits of operation of controllers and starters

Controllers or starters shall function satisfactorily at any voltage between 85 % and 110 % of their rated operational voltage, U_e , and rated control circuit supply voltage, U_s , when tested according to 9.3.3.6.3. Where a range is declared, 85 % shall apply to the lower value, and 110 % to the higher.

8.2.1.3 Limits of operation of under-voltage relays and releases

An under-voltage relay or release can be associated with a semiconductor motor controller or starter. In addition to the test requirements of 9.3.3.6.5, the limits of operation of the under-voltage relays and releases shall be defined by the manufacturer if applicable.

8.2.1.4 Limits of operation of shunt coil operated releases (shunt trip)

Vacant.

8.2.1.5 Limits of operation of current sensing relays and releases

8.2.1.5.1 Relays and releases in starters

8.2.1.5.1.1 Limits of operation of time-delay overload relays when all poles are energized

8.2.1.5.1.1.1 General tripping requirements of overload relays

NOTE 1 The thermal protection of motors in the presence of harmonics in the supply voltage is under consideration.

The relays shall comply with the requirements of Table 4 when tested as follows:

- a) with the overload relay or starter in its enclosure, if normally fitted, and at A times the current setting, tripping operation shall not occur in less than 2 h starting from the cold state, at the value of reference ambient air temperature stated in Table 4. However, when the overload relay terminals have reached thermal equilibrium at the test current in less than 2 h, the test duration can be the time needed to reach such thermal equilibrium;
- b) when the current is subsequently raised to B times the current setting, tripping operation shall occur in less than 2 h;
- c) for class 2, 3, 5 and 10 A overload relays energized at C times the current setting, tripping operation shall occur in less than 2 min starting from thermal equilibrium, at the current setting, in accordance with 9.3.3 of IEC 60034-1:2017;

NOTE 2 Subclause 9.3.3 of IEC 60034-1:2017 states: "Polyphase motors having rated outputs not exceeding 315 kW and rated voltages not exceeding 1 kV shall be capable of withstanding a current equal to 1,5 times the rated current for not less than 2 min."

- d) for class 10, 20, 30 and 40 overload relays energized at C times the current setting, tripping operation shall occur in less than 4 min, 8 min, 12 min or 16 min respectively, starting from thermal equilibrium, at the current setting;
- e) for semiconductor starter without current-limit function at D times the current setting, tripping operation shall occur within the limits given in Table 3 for the appropriate trip class and tolerance band, starting from the cold state. For semiconductor starter with current-limit function, the test shall be done at the maximum I_{lim} and the tripping operation shall occur within the time limits declared by the manufacturer according to 5.7.5.

NOTE 3 For semiconductor starters with current-limit function and an overload relay having a current setting range, the test with the maximum I_{lim} is related only to the maximum setting of the overload relay. The test at the minimum setting can be done in the same way as without current-limit function.

In the case of overload relays having a current setting range, the limits of operation shall apply when the relay is carrying the current associated with the maximum setting and also when the relay is carrying the current associated with the minimum setting.

For non-compensated overload relays, the current multiple/ambient temperature characteristic shall not be greater than 1,2 %/K.

NOTE 4 1,2 %/K is the derating characteristic of PVC-insulated conductors.

An overload relay is regarded as compensated if it complies with the relevant requirements of Table 4 at +20 °C and is within the limits shown in Table 4 at other temperatures.

Table 4 – Limits of operation of time-delay overload relays when energized on all poles

Type of overload relay	Multiples of current setting				Ambient air temperature values
	A	B	C	D	
Thermal type not compensated for ambient air temperature variations	1,0	1,2 ^b	1,5	7,2	+40 °C
Thermal type compensated for ambient air temperature variations	c	c	–	–	Less than 0 °C ^d
	1,05	1,3	1,5	–	0 °C
	1,05	1,2 ^b	1,5	7,2	+20 °C
	1,0	1,2 ^b	1,5	–	+40 °C
	c	c	–	–	More than +40 °C ^d
Electronic type ^a	1,05	1,2 ^b	1,5	7,2	0 °C, +20 °C and +40 °C
^a These tests A, B and D shall only be done at 20 °C. ^b If specified by the manufacturer the tripping current could be different from 120 % but shall not exceed 125 %. In this case the test current value shall be equal to this tripping current value. In this case the tripping current value shall be marked on the product. ^c Multiples of current setting should be declared by the manufacturers. ^d See 9.3.3.6.5 for test outside the range 0 °C to +40 °C.					

8.2.1.5.1.1.2 Thermal memory test verification

Unless the manufacturer has specified that the device does not contain thermal memory, electronic overload relays shall fulfil the following requirements (see Figure 3):

- apply a current equal to I_e until the device has reached the thermal equilibrium;
- interrupt the current for a duration of $2 \times T_p$ (see Table 3) with a relative tolerance of ± 10 % (where T_p is the time measured at the D current according to Table 4);
- apply a current equal to $7,2 \times I_e$;
- the relay shall trip within 50 % of the time T_p .

For semiconductor starter with current-limit function, the test shall be done at the maximum I_{lim} and the tripping operation shall occur within the time limits declared by the manufacturer.

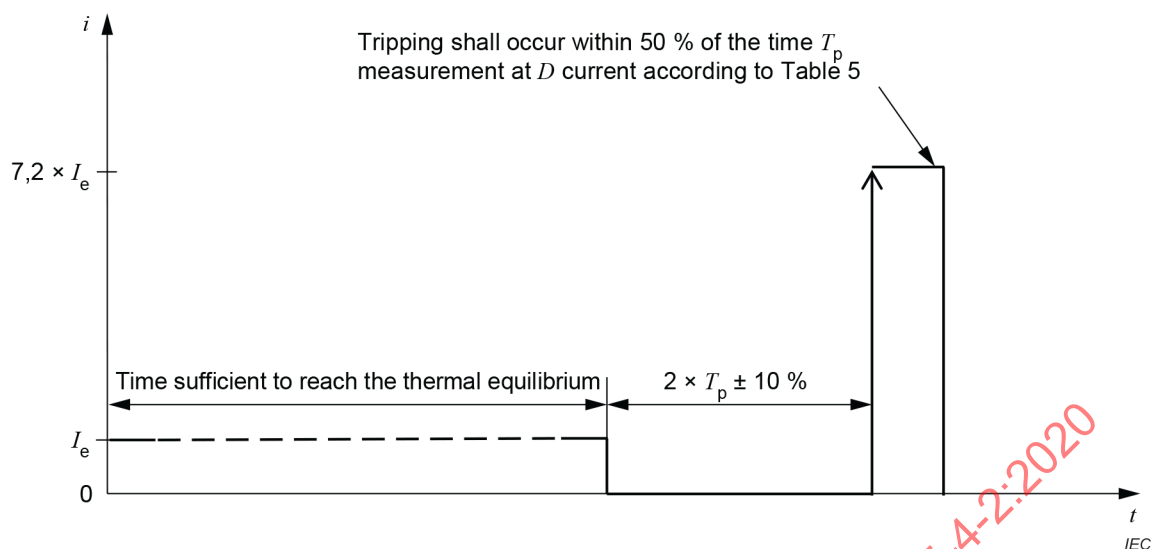


Figure 3 – Thermal memory test

8.2.1.5.1.2 Limits of operation of three-pole time-delay overload relays energized on two poles

With reference to Table 5:

The overload relay or starter shall be tested in its enclosure if normally fitted. With the relay energized on three poles, at A times the current setting, tripping operation shall not occur in less than 2 h, starting from the cold state, at the value of the ambient air temperature stated in Table 5.

Moreover, when the value of the current flowing in two poles (in phase loss sensitive overload relay or release, those carrying the higher current) is increased to B times the current setting, and the third pole de-energized, tripping operation shall occur in less than 2 h.

The values shall apply to all combinations of poles.

In the case of overload relays having an adjustable current setting, the characteristics shall apply both when the relay is carrying the current associated with the maximum setting and when the relay is carrying the current associated with the minimum setting.

Table 5 – Limits of operation of three-pole time-delay overload relays when energized on two poles only

Type of overload relay	Multiples of current setting		Reference ambient air temperature
	A	B	
Thermal, compensated for ambient air temperature variations or electronic Not phase loss sensitive	3 poles 1,0	2 poles 1,32 1 pole 0	+20 °C
Thermal, not compensated for ambient air temperature variations Not phase loss sensitive	3 poles 1,0	2 poles 1,25 1 pole 0	+40 °C
Thermal, compensated for ambient air temperature variations or electronic Phase loss sensitive	2 poles 1,0 1 pole 0,9	2 poles 1,15 1 pole 0	+20 °C

8.2.1.5.2 Relays and releases associated with controllers

Relays and releases to be associated with a controller to provide protection for the motor 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 $(XI_e)^2 \times T_x$.

8.2.1.5.3 Limits of operation of under-current relays

An under-current relay or release, when associated with a switching device, shall operate to open the switching device within 90 % to 110 % of the set time when the current during operation is below 0,9 times the under-current setting in all poles.

8.2.1.5.4 Limits of operation of stall sensitive electronic overload relays

A stall sensitive electronic overload relay, when associated with a switching device, shall operate to open the switching device within 80 % to 120 % of the set time (stall inhibit time) or within the accuracy specified by the manufacturer, when

- a) for current sensing relays, the current is 20 % higher than the set stall current value;

EXAMPLE Set current of the stall relay: 100 A; set time: 6 s; time setting accuracy: $\pm 10\%$. The relay is tripping within 5,4 s and 6,6 s when the current is equal to or greater than $100 \text{ A} \times 1,2 = 120 \text{ A}$.

- b) for rotation sensing relays, an input signal indicating no motor rotation exists.

8.2.1.5.5 Limits of operation of jam sensitive electronic overload relays and releases

A jam sensitive electronic overload relay or release, when associated with a switching device, shall operate to open the switching device within 80 % to 120 % of the set time (jam inhibit time) or within the accuracy specified by the manufacturer, when the current is above 1,2 times the set current value of the jam sensitive electronic overload relay, during running after completion of the starting.

8.2.1.6 Mechanical switching devices used in semiconductor motor controllers and starters

The switching devices shall be verified as a part of the semiconductor motor controller or starter. The making and breaking capacity test according to 8.2.4.2 need not to be performed when the mechanical switching devices is interlocked such that it is not required to make or break overload currents without direct intervention of the semiconductor switching device. Consequently, the semiconductor switching device shall take over the control of the current flowing in the main circuit whenever it is necessary to make or break currents up to and including overload currents.

8.2.2 Temperature-rise

8.2.2.1 General

The requirements of 8.2.2 of IEC 60947-1:2020 apply to controllers and starters in a clean, new condition.

In the case of conducting the test at a voltage below 100 V, mechanical switching devices may have the contacts cleaned either by any nonabrasive method or by carrying out operating cycles with or without load several times prior to initiating the test at any voltage.

NOTE Contact resistance due to oxidation can impact the temperature-rise test at test voltages below 100 V.

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, guarding and location to prevent danger is the responsibility of the installer. The manufacturer shall provide a suitable warning (for example symbol IEC 60417-5041:2002) in accordance with 6.3.

8.2.2.2 Terminal

Subclause 8.2.2.2 of IEC 60947-1:2020 applies.

8.2.2.3 Accessible parts

Subclause 8.2.2.3 of IEC 60947-1:2020 applies.

8.2.2.4 Ambient air temperature

Subclause 8.2.2.4 of IEC 60947-1:2020 applies.

8.2.2.5 Main circuit

8.2.2.5.1 General

The main circuit of a controller or starter, which carries current in the FULL-ON state, including the over-current releases which may be associated with it, shall be capable of carrying the current I_e without the temperature-rises exceeding the limits specified in 8.2.2.2 of IEC 60947-1:2020 when tested in accordance with 9.3.3.3.4.

8.2.2.5.2 Mechanical switching devices in controllers and starters

The temperature-rise shall be verified by the procedures given in 9.3.3.3.4 and 9.3.3.6.1 (including Table 10 and Table 14). The device shall be tested as an integral part of a unit with a sequence of operations which is the same as intended in normal service.

8.2.2.5.3 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 9.3.3.6.1 (thermal stability test).

8.2.2.6 Control circuits

Subclause 8.2.2.6 of IEC 60947-1:2020 applies.

8.2.2.7 Windings of coils and electromagnets

Subclause 8.2.2.7 of IEC 60947-1:2020 applies. The temperature-rise limits for insulated coils in air and in oil are given in Table 6.

Table 6 – 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) K	
	Coils in air	Coils in oil
A	85	60
E	100	60
B	110	60
F	135	–
H	160	–

8.2.2.8 Auxiliary circuits

Subclause 8.2.2.8 of IEC 60947-1:2020 applies.

8.2.2.9 Other parts

Subclause 8.2.2.1 of IEC 60947-1:2020 applies.

8.2.3 Dielectric properties

8.2.3.1 General

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 60947-1:2020;
- the impulse withstand voltage across the contact gaps of devices suitable for isolation as given in Table 14 of IEC 60947-1:2020;
- 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 60947-1:2020.

The rated impulse withstand voltage for a given rated operational voltage (see Notes 1 and 2 of 5.3.1.1 of IEC 60947-1:2020) shall be not less than that corresponding in Annex H of IEC 60947-1:2020 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.

8.2.3.2 Impulse withstand voltage

1) Main circuit

Subclause 8.2.3.2 1) of IEC 60947-1:2020 applies.

2) Auxiliary and control circuits

Subclause 8.2.3.2 2) of IEC 60947-1:2020 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 60947-1:2020 appropriate to the rated impulse withstand voltage.

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

Subclause 8.2.3.3 of IEC 60947-1:2020 applies.

8.2.3.4 Clearances

Subclause 8.2.3.4 of IEC 60947-1:2020 applies.

8.2.3.5 Creepage distances

Subclause 8.2.3.5 of IEC 60947-1:2020 applies.

8.2.3.6 Solid insulation

Subclause 8.2.3.6 of IEC 60947-1:2020 applies.

8.2.3.7 Spacing between separate circuits

Subclause 8.2.3.7 of IEC 60947-1:2020 applies.

8.2.4 Normal load and overload performance requirements

8.2.4.1 Operating capability requirements

Controllers and starters shall be required to establish an ON-state, to commute, to carry designated levels of overload currents, and to establish and sustain an OFF-state condition without failure or any type of damage when tested according to 9.3.3.6.

For controllers that are designated for utilization categories AC-2a, AC-3a, AC-8a, values of T_x corresponding to X values shall not be less than those given in Table 7. For corresponding starters, T_x shall be the maximum tripping time of its overload relay in hot state declared by the manufacturer (see also footnote ^b of Table 8).

Controllers and starters that are designated for utilization categories AC-2b, AC-3b and AC-8b may be designated for those applications where long accelerating times are required. It shall be understood that the maximum thermal capacity of the controller may be depleted fully during the on-load period. Therefore, a suitable off-load period shall be provided for the controller immediately after the starting time has expired. The values of T_x corresponding to X values shall not be less than those given in Table 7. For corresponding starters, T_x shall be the maximum tripping time of its appropriate overload relay (see also footnote ^b of Table 8).

Ratings shall be verified under the conditions stated in Table 8, Table 9 and Table 10 of this document, and in the relevant parts of 9.3.3.5.2 and 9.3.3.5.3 of IEC 60947-1:2020.

NOTE Starting higher locked rotor current to achieve high efficiency class motor according to IEC 60034-30-1 can reach an inrush current larger than the $8 \times I_e$ given in Table 9 which can be managed by e.g. an inrush current limit function or a higher making capacity of the semiconductor controller.

In Table 8 and Table 10, the ON-time and OFF-time should be in accordance with Table 2 for the most severe duty cycle sequence. If a controller is rated and tested for a duty cycle that is more severe than the standard duty cycle sequence, the manufacturer may assign the same rating for a standard duty cycle sequence without further testing.

Table 7 – Minimum overload current withstand time (T_x) in relation to overload current ratio (X) and corresponding to overload relay trip class (see Table 3)

Designation ^a (included as a guide only)	Minimum overload current withstand time, T_x s						
	$X = 8$	$X = 7$	$X = 6$	$X = 5$	$X = 4$	$X = 3$	$X = 2$
2	0,7	0,9	1,2	1,8	2,7	5	11
3	1	1,3	1,8	2,6	4	7	16
5	1,2	1,5	2	3	4,6	8,3	19
10A	1,6	2	3	4	6	12	26
10	3	4	6	8	13	23	52
20	5	6	9	12	19	35	78
30	7	9	13	19	29	52	112
40	11	15	20	29	45	80	180

^a Designations are provided for information only without any direct relation to Table 3.

Table 8 – Minimum requirements for thermal stability test conditions

Utilization category	Current-limit function	Test current (I_T) Operating cycle ON-time s				Operating cycle OFF-times
		Test level 1 ^a		Test level 2 ^a		
		I_T	ON-time ^b	I_T	ON-time ^b	
		I_T	ON-time ^b	I_T	ON-time ^b	
AC-2a, AC-3a, AC-8a	Yes	I_{lim}^d	t	I_e	(36°F/S)-t	36*(100-F)/S
	No	$0,75 * I_{LRP}$				
	No (DOL)	I_{LRP}				
AC-2b, AC-3b, AC-8b	Yes	I_{lim}^d	t	Not applicable	Not applicable	(3600/S)-t
	No	$0,75 * I_{LRP}$				
	No (DOL)	I_{LRP}				

Parameters of the test circuit:

I_{LRP} = prospective locked rotor current according to Table 9.

I_e = rated operational current

I_{lim} = current setting of the current-limit function

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 ^c

^a Changeover time from level 1 to level 2 shall not be greater than three full periods of the power frequency. The current during level 1 shall be carried by the semiconductor only.

^b For a semiconductor motor controller or starter intended to be used only together with a specified overload relay, t is the maximum operating time allowed by the tolerances of its overload relay in the hot state. For semiconductor motor controller without specified overload relay, $t = T_x$ and is selected from Table 7 according to $X = I_T/I_e$ and the declared overload trip class.

^c The number of operating cycles will depend upon the length of time required for the controller to reach thermal equilibrium.

^d I_{lim} is the current-limit value declared by the manufacturer according to the overload current profile according to 5.3.5.2.

Table 9 – Prospective locked rotor current by utilization categories

Utilization category	I_{LRP}
AC-2a	$4 \times I_e$
AC-2b	
AC-3a	$8 \times I_e$
AC-3b	
AC-8a	$6 \times I_e$
AC-8b	

Table 10 – Minimum requirements for overload capability test conditions

Utilization category	Parameters of the test circuit			Operating cycle ON-time s	Operating cycle OFF-time s	Number of operating cycles ^g
	$I_T^{h, f}$	U_r / U_e^a	$\cos \varphi^b$			
AC-2a	$I_{LRP}^{g, e}$	1,05	0,65	t^c	$\leq (3600/S)-t$	3 or 4
AC-3a			d			
AC-8a			d			
AC-2b	$I_{LRP}^{g, e}$	1,05	0,65	t^c	$\leq (3600/S)-t^i$	3
AC-3b			d			
AC-8b			d			

I_{LRP} prospective locked rotor current

I_e rated operational current

I_T test current

U_e rated operational voltage

U_r power frequency recovery voltage

Temperature conditions: 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 (see 9.3.3.3). During the test, the ambient air temperature shall be between +10 °C and +40 °C.

^a $U_r / U_e = 1,05$ for the last three full periods of power frequency of the ON-time, plus the first 1 s of the OFF-time (full voltage period). U_r / U_e may be any value during the time when the full voltage period is not in effect (reduced voltage period).

^b The characteristics of the circuit ($\cos \varphi$ and maximum possible current) are mandatory during the full voltage period. During the reduced voltage period, the characteristics of the circuit are not mandatory provided the load circuit permits a current higher than I_T .

^c For a semiconductor motor controller intended to be used only together with a specified overload relay or starter, t is the maximum operating time allowed by the tolerances of its overload relay in the hot state which is the state of thermal equilibrium reached during the temperature-rise test (see 9.3.3.3).

For a semiconductor motor controller intended to be used without a specified overload relay, $t = T_x$ is selected from Table 7 according to $X = I_T / I_e$ and the declared overload trip class.

^d For $I_e \leq 100$ A: $\cos \varphi = 0,45$; for $I_e > 100$ A: $\cos \varphi = 0,35$.

^e I_{LRP} may be limited by the EUT.

^f In case of current-limit function, see 9.3.3.6.3 (3) e).

^g See Table 9.

^h In the case of three operating cycles, the current shall be carried by the semiconductor only. In the case of four operating cycles, then the current shall be carried only by the semiconductor in the first two operating cycles. In the last two operating cycles the current shall be carried by the device that is normally carrying the current in the FULL-ON state.

ⁱ For utilization categories AC-2b, AC-3b, AC-8b, the manufacturer may claim compliance with the capability to perform starting operations with the OFF-time values less than 1 440 s. However, it shall be verified by testing with the OFF-time declared by the manufacturer.

8.2.4.2 Making and breaking capacities for devices in the main circuit

8.2.4.2.1 General

The controller or starter, including the over-current releases and the mechanical switching devices associated with it, shall be capable of operating without failure in the presence of locked rotor motor current, starting current and overload current.

The capability of making and breaking currents without failure shall be verified under the conditions stated in both Table 11 and Table 12, for the required utilization categories, and the number of operations indicated.

8.2.4.2.2 Mechanical switching devices of controllers and starters

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 9.3.3.5.2.

8.2.4.2.3 Semiconductor switching devices

The capability to control overload currents shall be verified by the procedures of 9.3.3.6.2 and 9.3.3.6.3.

8.2.4.3 Requirements for an induction motor test load

The induction motor test load shall feature a four-pole squirrel cage motor with the following characteristics:

- the rated voltage of the motor shall be equal to or greater than U_e for the device to be tested;
- when the motor is running, the test current through the motor and the controller may be any value greater than 1 A;
- the power factor of the motor may be of any value;
- the inner connections of the motor windings may be of any configuration (for example star, delta);
- the parameters of the mechanical load connected to the motor shaft shall be adjusted to produce a decelerating time from base speed to zero speed within the range of 2 s to 4 s.

Table 11 – Making and breaking capacity test; making and breaking conditions according to utilization categories for the mechanical switching device

Utilization category	Make and break conditions						
	I_c/I_e	U_r/U_e	$\cos \varphi$	ON-time s	OFF-time s	Number of operating cycles	
AC-2a, b	4,0	1,05	0,65	0,05	b	50	
AC-3a, b	8,0		a				
AC-8a, b	6,0		a				
I_c = current made and broken, expressed in AC RMS symmetrical values I_e = rated operational current U_e = rated operational voltage U_r = power frequency recovery voltage ^a For $I_e \leq 100$ A: $\cos \varphi = 0,45$ For $I_e > 100$ A: $\cos \varphi = 0,35$ ^b OFF-time shall not be greater than the values given in the chart.				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	

Table 12 – Conventional operational performance making and breaking conditions according to utilization categories for the mechanical switching device

Utilization category	Make and break conditions					
	I_c/I_e	U_r/U_e	$\cos \varphi$	ON-time s	OFF-time s	Number of operating cycles
AC-2a, b	2,0	1,05	0,65	0,05	b	6 000
AC-3a, b	2,0	1,05	a			
AC-8a, b	6,0	1,05	0,35	1 10	9 90	5 900 100
I_c = current made and broken, expressed in AC RMS symmetrical values I_e = rated operational current U_e = rated operational voltage U_r = power frequency recovery voltage						
^a For $I_e \leq 100$ A: $\cos \varphi = 0,45$ For $I_e > 100$ A: $\cos \varphi = 0,35$ ^b OFF-times shall not be greater than the values given in Table 11.						

8.2.4.4 Semiconductor motor controller power losses

Where the power losses of the semiconductor motor controller or starter is given, the power semiconductor losses shall be calculated according to 5.3.7.1 and the semiconductor controlling device losses shall be measured according to 9.3.3.2.

8.2.5 Coordination with short-circuit protective devices**8.2.5.1 Performance under short-circuit conditions**

The rated conditional short-circuit current of controllers and starters 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.

The SCPD may be integrated within the semiconductor controller or starter.

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 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 installation and shall be suitable for further use. For mechanical switching device of controllers and starters, 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 a SCPD not in compliance with the manufacturer's recommendations can invalidate the coordination.

8.2.5.2 Coordination at the crossover current between the starter and the SCPD

The manufacturer shall describe the continuity of the short-circuit coordination between the protection functions up to its rated conditional short-circuit current. (SCPD, overload protection, other internal protections, line contactor, bypass contactor etc.).

8.3 EMC requirements

8.3.1 General

Subclause 8.3.1 of IEC 60947-1:2020 applies with the following addition.

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 test, the minimum system to be considered is the controller interconnected with a motor load and cables.

8.3.2 Immunity

8.3.2.1 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 or starter. Non-destructive influences may cause temporary malfunction or abnormal operation, but the controller or starter returns to normal operation after the influence is 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 or starter 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 decoupling practices during installation helps to minimize the external transient influences. For example, control circuit wiring are separated from power circuit wiring. Where closely coupled wiring cannot be avoided, twisted pairs or shielded wiring are used for control circuit connections.

A number of requirements are listed. The test results are specified using the performance criteria of the IEC 61000-4 series. For convenience, the performance criteria are quoted here, and described in more specific detail in Table 13.

These are:

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

The test results are specified using the performance criteria given in Table 13.

**Table 13 – Specific performance criteria
when EM disturbances are present**

Item	Performance criteria (performance during test)		
	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 power and driving circuits	No maloperation.	Temporary maloperation which cannot cause tripping, or erratic and audible changes in motor torque.	Shut down. Triggering of protective devices. Not self-recoverable.
C Operation of displays and control panels	No changes to visible display information. Only slight light intensity fluctuation of LEDs, 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.
D 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.

8.3.2.2 Electrostatic discharge

The test values and procedures are given in 9.4.2.1.

8.3.2.3 Radio-frequency electromagnetic field

The test values and procedures are given in 9.4.2.2.

8.3.2.4 Fast transients (common mode) (5/50 ns)

The test values and procedures are given in 9.4.2.3.

8.3.2.5 Surges (1,2/50/μs-8/20/μs)

The test values and procedures are given in 9.4.2.4.

8.3.2.6 Harmonics and commutation notches

The test values and procedures are given in 9.4.2.5.

8.3.2.7 Voltage dips and short time interruptions

The test values and procedures are given in 9.4.2.6.

8.3.2.8 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).

8.3.3 Emission

8.3.3.1 General

Subclause 8.3.3 of IEC 60947-1:2020 applies with the following addition.

8.3.3.2 Low-frequency emission with reference to main power frequency

8.3.3.2.1 Harmonics

Devices intended to be connected to public low-voltage distribution systems and which can operate continuously in a state different than FULL-ON state shall comply, if applicable, with IEC 61000-3-2 when rated less or equal to 16 A per phase and with IEC 61000-3-12 when rated above 16 A and below or equal to 75 A.

8.3.3.2.2 Voltage fluctuation

Devices intended to be connected to public low-voltage distribution systems and which can operate continuously in a state different than FULL-ON state shall comply, if applicable, with IEC 61000-3-3 when rated less or equal to 16 A per phase and with IEC 61000-3-11 when rated below or equal to 75 A.

8.3.3.3 High-frequency emission

8.3.3.3.1 Conducted radio-frequency (RF) emission

The limits given in Table 17 shall be verified in accordance with the procedures of 9.4.3.2.

8.3.3.3.2 Radiated emission

The limits given in Table 18 shall be verified in accordance with the procedures of 9.4.3.3.

9 Tests

9.1 Kinds of tests

9.1.1 General

Subclause 9.1.1 of IEC 60947-1:2020 applies.

9.1.2 Type tests

Type tests are intended to verify compliance of the design of controllers and starters of all types and their dedicated wiring accessories with this document. They comprise the verification of

- a) temperature-rise limits (9.3.3.3);
- b) dielectric properties (9.3.3.4);
- c) operating capability (9.3.3.6);
- d) operation and operating limits (9.3.3.6.3);
- e) rated making and breaking capacity and conventional operational performance of series mechanical switching devices of equipment (9.3.3.5);
- f) performance under short-circuit conditions (9.3.4);
- g) mechanical properties of terminals (9.2.5 of IEC 60947-1:2020 applies);
- h) degrees of protection of enclosed controllers and starters (Annex C of IEC 60947-1:2020 applies);
- i) EMC tests (9.4).

9.1.3 Routine tests

Subclause 9.1.3 of IEC 60947-1:2020 applies where sampling tests (9.1.4) are not made instead.

Routine tests for controllers and starters comprise

- operation and operating limits (9.5.2);
- dielectric tests (9.5.3).

For dedicated wiring purpose accessories delivered separately, only dielectric test applies.

9.1.4 Sampling tests

Sampling tests for controllers and starters comprise

- operation and operating limits (9.5.2);
- dielectric tests (9.5.3).

Subclause 9.1.4 of IEC 60947-1:2020 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 Table 2-A of ISO 2859-1:1999.

Sampling is based on AQL ≤ 1 :

- acceptance number $A_c = 0$ (no defect accepted);
- rejection number $R_e = 1$ (if 1 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 the above ISO 2859-1 requirements can be used, for example statistical methods controlling continuous manufacturing or process control with capability index.

Sampling tests for clearance verification according to 9.3.3.4.3 of IEC 60947-1:2020 are under consideration.

9.1.5 Special tests

9.1.5.1 General

Special test are conducted is at the discretion of the manufacturer.

Special tests include:

- environment tests according to 9.1.5.2;
- verification of coordination between the starter and the SCPD according to 9.1.5.3.

9.1.5.2 Environmental tests

For these special tests, Annex Q of IEC 60947-1:2020 applies.

Where Table Q.1 of IEC 60947-1:2020 calls for verification of operational capability, this shall be done according to 9.5.2 of this document.

The vibration tests shall be done on the equipment with the mechanical switching device in the open and closed positions, if any. The overload relay shall not trip during the test. To check the behaviour of main and auxiliary contacts, tests can be done under any current/voltage value.

The shock test on the equipment shall be done in the open position.

For the dry heat test, the mechanical switching device shall be in the closed position during the conditioning period (see 5.3.3 of IEC 60068-2-2:2007). For categories A, B and C, the test may be done without current in the poles and for categories D, E and F, the test shall be done under the maximum rated AC-3 current, but may be limited to 100 A for practical reasons. During the last hour, the controller shall be operated 5 times. During the test the overload relay is permitted to trip.

For the low temperature test, the test *Ad* is to be chosen instead of the test *Ab* and the mechanical switching device shall be in the open position during the cooling period. It shall then be energized for the last hour. For categories A, B and C, the test may be done without current in the poles and for categories D, E and F, the test is done under the maximum rated AC-3 current which may be limited to 100 A for practical reasons. During this last hour the controller shall be operated 5 times. During the test the overload relay shall not trip.

For the damp heat test, for categories A, B and C, the test may be done without current in the poles. For categories D, E and F the equipment shall be energized under the maximum rated AC-3 current for the first cycle and de-energized for the second cycle. The current may be limited to 100 A for practical reasons. After stabilization of the temperature, during the first 2 h of the first cycle and during the last 2 h of the second cycle, the controller shall be operated 5 times. The overload relay may trip only if it is permitted according to its temperature characteristic.

With the agreement of the manufacturer, the duration of the recovery periods may be reduced.

After the salt mist test, the product may be washed with the manufacturer's agreement.

9.1.5.3 Coordination between the starter and the SCPD

The verification of the short-circuit coordination between different over-current protections up to the rated conditional short-circuit current shall be demonstrated either by documentation, simulation or test (see Annex C).

9.2 Compliance with constructional requirements

9.2.1 General

Subclause 9.2 of IEC 60947-1:2020 applies with the following additions.

9.2.2 Electrical performance of screwless-type clamping units

Subclause 9.2.5.7 of IEC 60947-1:2020 applies with the following additions.

The insertion and disconnection of the conductors shall be made in accordance with the manufacturer's instructions.

The measurement methods and the results shall be documented in the test report. The test current is I_{th} .

NOTE The device sample can be provided with holes or equivalent arrangements which provide measurement access points for the voltage drop on the terminal.

9.2.3 Ageing test for screwless-type clamping units

Subclause 9.2.5.8 of IEC 60947-1:2020 applies with the following change:

The test shall be done on the device equipped with the clamping units.

The test current is I_{th} .

NOTE The device sample can be provided with holes or equivalent arrangements which provide measurement access points for the voltage drop on the terminal.

9.2.4 Limited energy source test

A limited energy source circuit shall be tested as follows, with the equipment operating under normal operating conditions.

In case the limited energy source requirement depends on over-current protective device(s), the device(s) shall be short-circuited.

With the equipment operating under normal operating conditions, a variable resistive load is connected to the parts under consideration and adjusted to obtain a level of required limited apparent power (VA). Further adjustment is made, if necessary, to maintain the limited apparent power (VA) for a period specified in 8.1.14.

A variable resistive load is connected to the circuit under consideration and adjusted to obtain the limit of apparent power as indicated in Table 19, Table 20, or Table 21, as applicable. Further adjustment is made, if necessary, to maintain the limit of apparent energy for the time period indicated in Table 19, Table 20, or Table 21, as applicable.

The test complies, if after the test period the available apparent power does not exceed the limits indicated in Table 19, Table 20, or Table 21, as applicable.

In case the limited energy source requirement depends on over-current protective device(s), the current rating of at least one of the protective device(s) in the current path shall not exceed the limit in Table 20.

These tests shall be conducted under the most unfavourable combination within the manufacturer's operating specifications of the parameters as listed in 5.5.

9.2.5 Breakdown of components

9.2.5.1 General

The breakdown of a component, identified as a result of the circuit analysis of 8.1.16, shall be tested with the product operating with the load creating the more severe condition.

NOTE As described in 8.1.16, this test is intended to verify it does not result in hazardous situation, but it is not intended to verify the continuity of the function of the equipment.

The test is not required:

- when circuit analysis indicates that no other component or portion of the circuit will be overloaded as a result of open- or short-circuit failure mode of another component;
- for components in circuits supplied by limited energy sources in compliance with 8.1.14;
- on power semiconductor devices when equivalent testing is accomplished during short-circuit tests;
- for components that have previously been positively evaluated considering the failure modes and the circuit conditions in which the component is used within the device.

9.2.5.2 Breakdown of components test

Each identified component shall be subjected to a breakdown of components test in open- and/or short-circuit failure modes, whichever is most severe.

The breakdown of component test may be done with only those circuits of the device that can affect the result of the test, being fully energized and in operation.

During the test, there shall be no emission of flame or molten metal, nor ignition of cotton. The fusible element shall not open.

Components, such as capacitors or diodes, are short- or open-circuited. For a device without a dedicated enclosure, an outer metal enclosure or a wire mesh cage (with surrounded cotton on the cage) that is 1,5 times the size of the device (or different, according to manufacturer declarations) shall be provided to simulate the potential grounded parts around the device. In case of dedicated enclosure, the cotton shall be placed over all openings. The outer dedicated enclosure or wire mesh cage (when provided) and any grounded or exposed dead-metal part shall be connected through a fusible element F, according to 9.3.4.1.2d) of IEC 60947-1:2020, to the supply circuit.

NOTE The definition of enclosed equipment is given in Annex C of IEC 60947-1:2020.

9.2.6 Wire flexing test

Following the requirements of 8.1.3, the wiring to components mounted on a door or cover is to be tested by opening the door or cover as far as possible – restraints such as a chain are to remain in place – and then closing it for 500 cycles of operation. Following this test, the equipment is to be subjected to the dielectric voltage withstand test described in 9.3.3.4.1 applied between conductors and between conductors and ground.

9.3 Compliance with performance requirements

9.3.1 Test sequences

Each test sequence is made on a new sample.

For convenience of testing and by agreement with the manufacturer, these tests may be conducted on separate new samples and omitted from the relevant sequence.

This only applies to the following tests upon request:

- 9.3.3.4.1 item 7) of IEC 60947-1:2020: Verification of creepage distance;
- 9.2.5 of IEC 60947-1:2020: Mechanical properties of terminals;
- Annex C of IEC 60947-1:2020: Degrees of protection of enclosed equipment.

The test sequence shall be as follows:

a) Test sequence I

- 1) Verification of temperature-rise (9.3.3.3)
- 2) Verification of dielectric properties (9.3.3.4)

b) Test sequence II: Operating capability verification (9.3.3.6)

- 1) Thermal stability test (9.3.3.6.2)
- 2) Overload capability test (9.3.3.6.3)
- 3) Blocking and commutating capability test (9.3.3.6.4), including verification of operation and operating limits

c) Test sequence III

Performance under short-circuit conditions (9.3.4)

d) Test sequence IV

1) Verification of mechanical properties of terminals

(see 9.2.5 of IEC 60947-1:2020, 9.2.2 and 9.2.3 of this document);

2) Verification of degrees of protection of enclosed equipment (Annex C of IEC 60947-1:2020)

e) Test sequence V

EMC tests (9.4)

f) Test sequence VI

Tripping operation test (9.3.3.6.6)

9.3.2 General test conditions

Subclause 9.3.2 of IEC 60947-1:2020 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 60947-1:2020.

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

True RMS 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 Power consumption**

The power consumption of the semiconductor controlling device is measured with a wattmeter on the terminals of the control supply voltage in FULL-ON operation during a typical duty cycle.

9.3.3.3 Temperature-rise**9.3.3.3.1 Ambient air temperature**

Subclause 9.3.3.3.1 of IEC 60947-1:2020 applies.

9.3.3.3.2 Measurement of the temperature of parts

Subclause 9.3.3.3.2 of IEC 60947-1:2020 applies.

9.3.3.3.3 Temperature-rise of a part

Subclause 9.3.3.3.3 of IEC 60947-1:2020 applies.

9.3.3.3.4 Temperature-rise of the main circuit

Subclause 9.3.3.3.4 of IEC 60947-1:2020 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 9.3.3.6.2.

For mechanical switching devices (see 8.2.2.5.2), temperature sensing means shall be attached in accordance with the requirements of 9.3.3.3 of IEC 60947-1:2020.

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.

Starters shall be fitted with an overload relay, complying with 5.7, and selected as follows:

- non-adjustable relay:
the current setting shall be equal to the maximum operational current of the starter, and the test shall be at this current;
- adjustable relay:
the maximum current setting shall be that which is nearest to, but not greater than, the maximum operational current of the starter.

For starters, the test shall be made with that overload relay for which the current setting is nearest to the maximum of its scale.

NOTE The selection method described above is designed to ensure that the temperature-rise of these field wiring terminals of the overload relay, and the power dissipated by the starter, are not less than those that will occur under any combination of relay and controller. In cases where the effect of the overload relay on these values is insignificant (as in solid-state overload relays), the test current is the maximum operational current of the starter.

9.3.3.3.5 Temperature-rise of control circuits

Subclause 9.3.3.3.5 of IEC 60947-1:2020 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 9.3.3.3.6 of IEC 60947-1:2020 applies with the following addition.

Electromagnets of contactors or starters intended for duty within semiconductor controllers or for mechanical bypass switching means shall comply with 8.2.2.7 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 9.3.3.3.7 of IEC 60947-1:2020 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 9.3.3.4.1 1) of IEC 60947-1:2020 applies.

(2) Verification of impulse withstand voltage

a) General

Subclause 9.3.3.4.1 2) a) of IEC 60947-1:2020 applies.

b) Test voltage

Subclause 9.3.3.4.1 2) b) of IEC 60947-1:2020 applies with the following sentence added.

For any part for which the dielectric properties are not sensitive to altitude (for example opto-coupler, 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 (3.1.2.31) 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 8.2.3.2 of IEC 60947-1:2020.

d) Acceptance criteria

Subclause 9.3.3.4.1 2) d) of IEC 60947-1:2020 applies.

(3) Power-frequency withstand verification of solid insulation

a) General

Subclause 9.3.3.4.1 3) a) of IEC 60947-1:2020 applies.

b) Test voltage

Subclause 9.3.3.4.1 3) b) of IEC 60947-1:2020 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 9.3.3.4.1 3) c) of IEC 60947-1:2020 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 semiconductor controller or starters with series mechanical switching device, across the poles of the main circuit, the line terminals being connected together and the load terminals connected together.

d) Acceptance criteria

Subclause 9.3.3.4.1 3) d) of IEC 60947-1:2020 applies.

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

a) General

Subclause 9.3.3.4.1 4) a) of IEC 60947-1:2020 applies.

b) Test voltage

Subclause 9.3.3.4.1 4) b) of IEC 60947-1:2020 applies.

c) Application of test voltage

Subclause 9.3.3.4.1 4) c) of IEC 60947-1:2020 applies with the following sentence added at the end of the paragraph.

The use of a metal foil, as mentioned in 9.3.3.4.1 1) of IEC 60947-1:2020, is not required.

d) Acceptance criteria

Subclause 9.3.3.4.1 4) d) of IEC 60947-1:2020 applies.

(5) Vacant

(6) Verification of DC withstand voltage

Subclause 9.3.3.4.1 4) of IEC 60947-1:2020 applies.

(7) Verification of creepage distances

Subclause 9.3.3.4.1 7) of IEC 60947-1:2020 applies.

(8) Verification of leakage current of equipment suitable for isolation

The maximum leakage current shall not exceed the values of 8.2.7 of IEC 60947-1:2020.

9.3.3.4.2 Vacant

9.3.3.4.3 Sampling tests for verification of clearances

(1) General

Subclause 9.3.3.4.3 1) of IEC 60947-1:2020 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 9.3.3.4.3 3) of IEC 60947-1:2020 applies.

(4) Acceptance criteria

Subclause 9.3.3.4.3 4) of IEC 60947-1:2020 applies.

9.3.3.5 Making and breaking capacity of mechanical switching devices

9.3.3.5.1 General

The making and breaking capacity shall be verified in accordance with 9.3.3.5 of IEC 60947-1:2020.

This test shall cover the conditions of maximum interrupted values of voltage, power, and current.

9.3.3.5.2 Mechanical switching devices of semiconductor motor controllers and starters

The complete unit with bypass installed shall be tested as in normal service. The operational sequence, to simulate starting and stopping, shall be the same as in normal service.

If the mechanical switching devices has already fulfilled the requirements according to Table 11 and Table 12, it is not required to repeat the test.

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:

- thermal stability test;
- overload capability test;
- blocking and commutation capability test.

The tests simulate an 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 circuit supply voltage U_s .

If the controller within a starter has satisfied the requirements of a previous operating capability test, and meets the requirements for assigning ratings based on the results of test as given in 5.4.2, the starter need not be tested.

Table 14 – Thermal stability test specifications

Item	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 60947-1:2020.	
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 8	
EUT temperature	C_n , case temperature	Temperature sensing means attached to the outer surface of one semiconductor switching device (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 (9.3.3.3.1 of IEC 60947-1:2020 applies).
Results to be obtained	a) $\Delta_n \leq 0,05$ within 8 h b) No visual evidence of damage (such as smoke, discoloration) c) 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 60947-1:2020. d) When the terminals are not accessible, the values of Table 2 of IEC 60947-1:2020 may be exceeded provided that adjacent parts are not impaired.	

Table 15 – 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 overload relay of the starter, or the overload relay recommended by the manufacturer to be used together with the controller.
3 and 4	≥ 40 °C plus the maximum case temperature-rise during the temperature-rise test (9.3.3.3)

9.3.3.6.2 Thermal stability test procedure

Test specifications and acceptance criteria are given in Table 14. The test profiles are illustrated in Figure F.1.

- (1) Assign a sequence number, n , to each on-load period in the test series (as $n = 0, 1, 2, \dots, N-1, N$).
- (2) Record initial case temperature C_0 . Record initial ambient temperature A_0 .
- (3) Set test current, I_T , level 1 (see Table 8). Change n to a new value where $n = n+1$.
- (4) The time span of t commences at the instant when the test current reaches the value I_T . Therefore, the time for the test current controlled acceleration to reach I_T increases the total test time.

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 controlled acceleration to reach $X \times I_e$ increases the total test time.

(5) This step needs to be performed with respect to the utilization category.

a) For AC-2a, AC-3a, AC-8a only.

After time interval t (Table 8), change test current, I_T , to level 2.

After time interval for level 2, switch EUT to OFF-state.

b) For AC-2b, AC-3b, AC-8b only.

After time interval t (Table 8), 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 (Table 14)

If $\Delta_n > 0,05$, total test time is less than 8 h, and results to be obtained (a) and b) of Table 14) are not violated, repeat steps 3 to 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 a), b), c) and d) of Table 14 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 10. The test profile is represented in Figure F.2.

b) Controllers and starters, utilizing a current controlled cut-out device in addition to an overload relay to provide 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 I_T .

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

c) Where the EUT is a starter, its overload relay shall be disabled. The operating cycle ON-time t , shall be set in accordance with c) of Table 10.

NOTE The time span of t commences at the instant when the test current reaches the value I_T . Therefore, the time for the test current controlled acceleration to reach I_T increases the total test time.

(3) Test

a) Establish initial conditions.

b) Apply test voltage to the input main circuit terminals of the EUT.

With semiconductor motor controller or starter in series with a mechanical switching device, the series mechanical switching device contact is closed.

The test voltage shall be applied for the duration of the test.

c) Switch the EUT to ON-state.

d) After the ON-time (Table 10), switch the EUT to the OFF-state.

e) Repeat steps c) and d) for the number of cycles of Table 10. End test.

In the case of the EUT having a current limit function during motor starting (and possibly stopping), but not in the FULL-ON state, the overload capability test procedure for verification of compliance of the EUT with the requirements of 8.2.4.1 is the following.

- i) After two operating cycles as described above, the EUT is switched to the ON-state, and loaded with an initial test current I_{init} , not higher than I_e .
- ii) With the EUT in the FULL-ON state, the test circuit specified in Table 10 is connected to the load by means of an external switch. There shall be no current interruption during transition from current I_{init} to I_T .
- iii) In accordance with Table 7, the test current I_T is maintained for the time t before an OFF-state is established by the EUT. The EUT is, however, permitted to establish an OFF-state condition at shorter times than t .
- iv) This operating cycle is performed twice.

The initial case temperature conditions for these required operating cycles shall be as stated in Table 15.

(4) Verify the criteria (see 9.3.3.6.4)

- 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

The test profiles are shown in Figure F.3. The parameters of the induction motor and the mechanical load are given in Table 16.

Table 16 – Minimum requirements and conditions for performance testing with an induction motor load

Utilization category	Test motor parameters				External mechanical load parameters
	K	U / U_e	Power	Cos ϕ	
AC-2a AC-2b	≥ 4	a	a	a	a
AC-3a AC-3b					
AC-8a AC-8b					
K ratio of locked rotor current to rated full load current of the test motor.					
During the test, the motor and the ambient air may be at any temperature between +10 °C and +40 °C.					
a. The characteristics of the induction motor test load are specified in 8.2.4.3.					

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 .

With a test cycle in which the ON-time is longer than the time to achieve full voltage and full speed + 1 s and the OFF-time equal 1/3 of the time for coasting to rest.

During the tests:

- the load and the ambient air may be at any temperature between 10 °C and 40 °C;
- a true RMS current measuring means shall be connected between the motor terminals and the load side terminals on each pole of the EUT. The means shall be capable of measuring currents in the range of milliamperes.

- EUT settings are limited to only those external adjusting means provided by the manufacturer in the normal product offerings.
 - a) Controllers fitted with a current-limit function will be set at the lowest value of X that will allow the motor (as defined in Table 16) to start.
 - b) Controllers fitted with controlled acceleration will be set at the maximum ramping time or 10 s, whichever is less.
- Initial values of starting current and/or starting voltage will be set at the minimum value that will allow the motor to start immediately.

Results to be obtained

- a) a1) or a2) shall be fulfilled
 - a1) $I_O < 1 \text{ mA}$ and $I_F < 1 \text{ mA}$
 - a2) if $I_O > 1 \text{ mA}$ or $I_F > 1 \text{ mA}$, 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 of I_{Lm} given in the documentation of the controller.
- b) No visual evidence of damage (such as smoke, discoloration).
- c) No loss of functionality as specified by the manufacturer.

For semiconductor motor controller or starter in series with a mechanical switching device, the contacts of the series mechanical switching device shall be maintained in the closed position for the duration of the test.

- 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 OFF-state 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 OFF-state current of the semiconductor elements shall be measured and the means for obtaining those measures shall be installed accordingly.
- 3) With the voltages U_e and U_s 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_O .
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 voltages U_e and U_s (as specified above) 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 OFF-state as specified above. 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 U_e and U_s 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_O .
- 8) Determine the values regarding the OFF-state currents through each pole as specified under item a) above.

To obtain successful compliance, the criteria given under item a), b) and c) shall be fulfilled.

9.3.3.6.5 Behaviour of the controller or starter 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

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

9.3.3.6.6 Relays and releases

a) Operation of under-voltage relays and releases

Under-voltage relays or releases shall be tested for compliance by a drop-out test from the rated control supply voltage of the relay or release at a rate to reach 0 V in approximately 30 s. The relay or release shall operate according to 8.2.1.3.

b) Shunt-coil operated releases

Vacant.

c) Thermal and electronic overload relays

Overload relays and starters shall be connected using conductors in accordance with Tables 9, 10 and 11 of IEC 60947-1:2020 for test currents corresponding to:

- 100 % of the current setting of the overload relay for overload relays of trip classes 2, 3, 5 and 10A for all overload relay types (see Table 4) and 10, 20, 30 and 40 for electronic overload relay types;
- 125 % of the current setting of the overload relay for thermal overload relays of trip classes 10, 20, 30 and 40 (see Table 4) and for overload relays for which a maximum tripping time greater than 40 s is specified (see 5.7.3).

It shall be verified that relays and releases operate according to the requirements of 8.2.1.5.1.1.1 with all poles energized.

Moreover, the characteristics defined in 8.2.1.5.1 shall be verified by tests at 0 °C, +20 °C, +40 °C (see Figure 4) and may be verified at minimum and maximum temperatures given by the manufacturer if larger. However, for relays or releases declared compensated for ambient temperature, in case of temperature range declared by the manufacturer larger than those given in Table 4, the characteristics at 0 °C and/or +40 °C need not be verified if, when tested at the declared minimum and maximum temperatures, the corresponding tripping current values are in compliance with the limits specified for 0 °C and/or +40 °C in that Table 4.

For electronic overload relays, the thermal memory test verification of 8.2.1.5.1.1.2 shall be carried out at +20 °C.

Three-pole thermal or electronic overload relays energized on two poles only shall be tested as stated in 8.2.1.5.2 on all combinations of poles and at the maximum and minimum current settings for relays with adjustable settings.

d) Under-current relays

The limits of operation shall be verified in accordance with 8.2.1.5.3.

e) Stall sensitive electronic overload relays

The limits of operation shall be verified in accordance with 8.2.1.5.4.

For stall sensitive electronic overload relays, the verification shall be made for the minimum and for the maximum set current values and for the minimum and maximum stall inhibit time (four settings).

For stall sensitive electronic overload relays operating in conjunction with a rotation sensing means, the verification shall be made for the minimum and maximum stall inhibit time. The sensor can be simulated by an appropriate signal on the sensor input of the stall sensitive electronic overload relay.

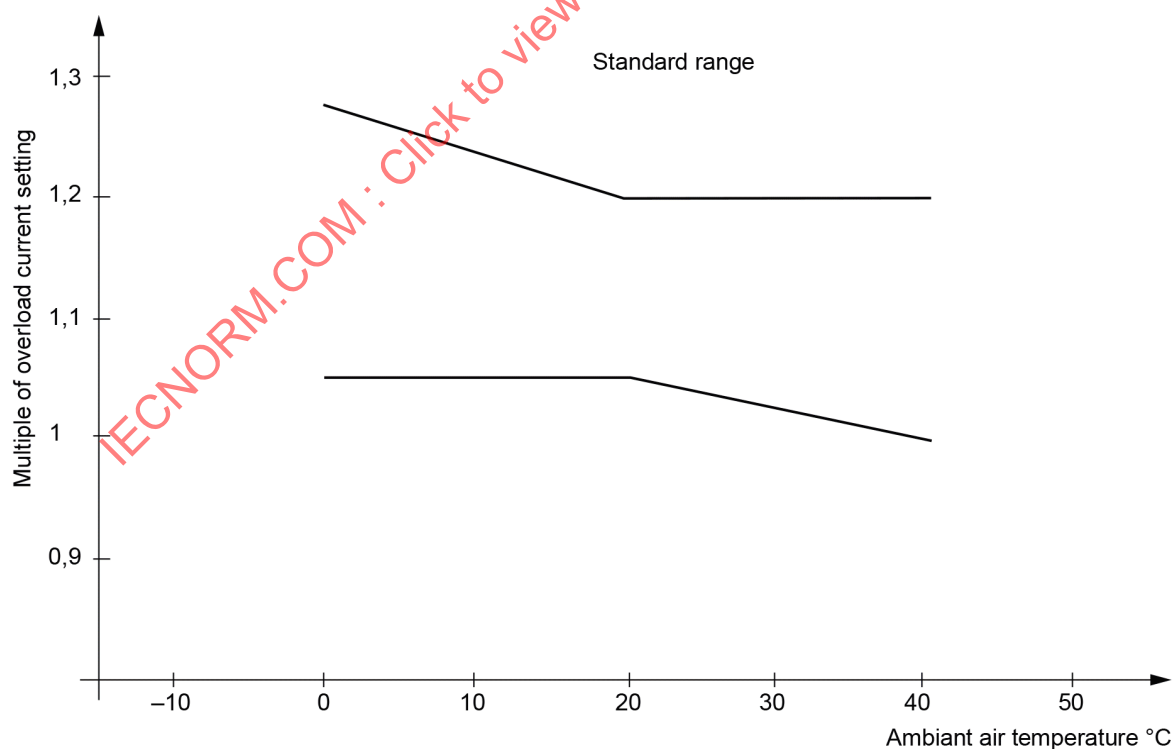
f) Jam sensitive electronic overload relays

The limits of operation shall be verified in accordance with 8.2.1.5.5.

The verification shall be made for the minimum and for the maximum set current values and for the minimum and maximum jam inhibit time (four settings).

For each of the four settings, the test shall be made under the following conditions:

- apply a test current of 95 % of the set current value. The jam sensitive electronic overload relay shall not trip;
- increase the test current to 120 % of the set current value. The jam sensitive electronic overload relay shall trip according to the requirements given in 8.2.1.5.5.



IEC

Figure 4 – Multiple of current setting limits for ambient air temperature compensated time-delay overload relays

9.3.4 Performance under short-circuit conditions

9.3.4.1 General conditions for short-circuit tests

9.3.4.1.1 General requirements for short-circuit tests

General conditions for short-circuit tests are as follows:

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

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.

The general requirements of 9.3.4.1.1 of IEC 60947-1:2020 apply with the following modification.

The enclosure shall be in accordance with the manufacturer's specifications. In 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 the device has not been evaluated for use in an individual enclosure.

9.3.4.1.2 Test circuit for the verification of short-circuit ratings

The test circuit of 9.3.4.1.2 of IEC 60947-1:2020 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 1 This larger size of wire is not used as a detector but to establish an earth condition allowing the damage to be evaluated.

NOTE 2 Existing device tested according to edition 3 of this document, using a fuse element F, does not need to be re-evaluated according to this subclause.

In addition, the method for achieving a FULL-ON state of the EUT shall be selected among the following possibilities:

- a) a remote circuit applied to each controller such that the output devices are actuated to a FULL-ON state independent of any loading;
- b) a squirrel cage motor with the characteristics that are given in 8.2.4.3 as a dummy load;
- c) a resistive or resistive-inductive load connected to the output terminals of the EUT such that enough loading is provided to actuate the output devices. This load shall have the characteristics given in 8.2.4.3.

For b) and c), the test circuit of 9.3.4.1.2 of IEC 60947-1:2020 shall be modified and wired as shown in Figure I.1. 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 (for example bounce or other intermittent openings of the contacts).

9.3.4.1.3 Power factor of the test circuit

Subclause 9.3.4.1.3 of IEC 60947-1:2020 applies.

9.3.4.1.4 Vacant**9.3.4.1.5 Calibration of the test circuit**

Subclause 9.3.4.1.5 of IEC 60947-1:2020 applies.

9.3.4.1.6 Test procedure

Subclause 9.3.4.1.6 of IEC 60947-1:2020 applies with the following additions.

The controller or the starter 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 starter) for each main circuit. The cables length may exceed 2,4 m when they are in the circuit during calibration.

If the SCPD is separate from the controller or starter, it shall be connected to the starter 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.

If the test is done according to method b) or c) in 9.3.4.1.2, 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 dummy motor 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 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 9.3.4.1.8 of IEC 60947-1:2020 applies.

9.3.4.2 Vacant**9.3.4.3 Conditional short-circuit current of controllers and starters****9.3.4.3.1 General**

The semiconductor motor controller or starter with or without a type-tested bypassed component, and the associated SCPD shall be subjected to the tests given in 9.3.4.3.2.

Bypassed semiconductor motor controllers or starters shall be submitted to two separate short-circuit tests in accordance with 9.3.4. Test 2 is not required for bypassed semiconductor motor controllers using external mechanical switching devices which have been already tested according to 9.3.4.3.2.

- 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 are to be conducted under conditions corresponding to the maximum I_e and the maximum U_e .

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 carried out 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.

If the SCPD has an adjustable short-circuit current setting, the test shall be carried out with the short-circuit current setting adjusted to the maximum setting for type 1 coordination and to the maximum declared setting for type 2 coordination.

The O operation shall be performed with the sample at I_q .

9.3.4.3.2 Test at the rated conditional short-circuit current 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, IEC 60269-1:2006/AMD2:2014) and the maximum let-through I^2t values.

Except for direct on-line controllers or starters, one breaking operation of the SCPD shall be performed with the controller or starter 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 controllers or starters, one breaking operation of the SCPD shall be performed by closing the controller or starter on to the short-circuit.

9.3.4.3.3 Results to be obtained

The controller or starter 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.

Both types of coordination

- a) the fault current has been successfully interrupted by the SCPD or the starter. In addition, the fuse or 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 overload relay is acceptable. The starter or the controller may be inoperative after the test.

Type 2 coordination

- f) no damage to any parts has occurred and no replacement of parts is permitted during the test with the exception of the fuse element of the SCPD, if any. For semiconductor motor controllers and starters with series mechanical switching device, welding of contacts is permitted if they are easily separated (e.g. by energizing several times the coil of the mechanical switching device or moving the operating means or using a tool such as screwdriver for separating the welded contacts) without significant deformation (without impairing the insulation of the mechanical switching device). In the case of welded contacts as described above, the functionality of the device shall be verified under the conditions of Table 10 for the declared utilization category by carrying out 10 operating cycles (instead of 3).
- g) the tripping of the overload relay shall be verified at a multiple of the current setting and shall conform to the published tripping operation characteristics, according to 5.7, 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 starter. The test voltage shall be applied as specified in 9.3.3.4.1 (4).

9.4 EMC tests

9.4.1 General

Subclause 9.4 of IEC 60947-1:2020 applies.

To ensure the EMC compliance of the equipment during its useful life based on this type test, the manufacturer shall consider how to maintain the expected characteristic variations of the equipment within appropriate margins.

EMC shall be verified on a representative sample of the production series. Where a range of soft-starters comprise similar control electronics and sensors, within similar frame sizes, it is only necessary to test a single representative sample of the soft-starter.

A motor is required for the purpose of testing. Except for the purposes of the harmonic emission test, it is not necessary to load the motor. Unless otherwise specified by the manufacturer, the length of the connections to the motor shall be 3 m.

The test report and the instruction manual shall include any special measures that have been taken to achieve compliance, for example the use of shielded or special cables. If auxiliary equipment is used with the starter or controller in order to comply with immunity or emission requirements, it shall be included in the report and the instruction manual.

The tests shall be carried out in a reproducible manner.

Semiconductor motor controllers and starters with motor overload protection, 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 or starter at the points of sustained maximum emission or susceptibility (see 9.4.2).

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

9.4.2 EMC immunity tests

9.4.2.1 Electrostatic discharges

Subclause 9.4.2.2 of IEC 60947-1:2020 applies with the following additions.

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

The controller or starter shall comply with performance criterion 2 of Table 13.

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

9.4.2.2 Radio-frequency electromagnetic field

For conducted immunity tests, 9.4.2.4 of IEC 60947-1:2020 applies with the performance criterion 1 of Table 13.

For radiated radio-frequency electromagnetic field immunity tests, 9.4.2.3 of IEC 60947-1:2020 applies with the performance criterion 1 of Table 13.

9.4.2.3 Fast transients (5/50 ns)

Subclause 9.4.2.5 of IEC 60947-1:2020 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 or starter shall comply with the performance criterion 2 of Table 13.

9.4.2.4 Surges (1,2/50 µs-8/20 µs)

Subclause 9.4.2.6 of IEC 60947-1:2020 applies.

The controller or starter shall comply with the performance criterion 2 of Table 13.

9.4.2.5 Harmonics and commutation notches

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

9.4.2.6 Voltage dips and short-time interruptions

Subclause 9.4.2.8 of IEC 60947-1:2020 applies with the performance criterion 3 of Table 13 except for the 0,5 cycle and 1 cycle for which the performance criterion 2 of Table 13 applies.

9.4.3 EMC emission tests

9.4.3.1 Condition for the emission tests

The description of the test, the test method and the test set-up are given in Clause 7 of CISPR 11:2015/AMD1:2016.

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

If an EMC filter is required to fulfil the emission levels given in Table 17, it shall be specified.

NOTE Emission measurements during the starting time with the existing measuring equipment is not possible, because the scanning time for frequency analysis is often much longer than the starting time. According to the current IEC 61000-4 series, relevant result of measurement can only be obtained in steady-state conditions.

9.4.3.2 Conducted radio frequency emission test

Descriptions 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 17.

The addition of high-frequency common mode filtering in the main power connections may cause unacceptable reductions in motor starting torque, or render invalid the concept of unearthed or high impedance earthed distribution systems, as employed within process industries, with implications for system safety.

If, in order to fulfil the emission levels given in Table 17, filters are necessary but are not used for the above reasons, other precautions shall be taken in order not to exceed the emission levels given in this table.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

**Table 17 – Terminal disturbance voltage limits
for conducted radio-frequency emission (AC mains power port)**

Environment ^e	A		A		A		B	
Frequency range MHz	Rated power ≤ 20 kVA ^c		Rated power > 20 kVA ^{a, c}		Rated power > 75 kVA ^{b, c}		All rated power	
	Quasi-peak dB(μV)	Average dB(μV)	Quasi-peak dB(μV)	Average dB(μV)	Quasi-peak dB(μV)	Average dB(μV)	Quasi-peak dB(μV)	Average dB(μV)
0,15 – 0,50	79	66	100	90	130	120	66 to 56 ^d	56 to 46 ^d
0,50 – 5	73	60	86	76	125	115	56	46
5 – 30	73	60	90 to 73 ^d	80 to 60 ^d	115	105	60	50
NOTE 1 At the transition frequency, the more stringent limit shall apply.								
NOTE 2 For controller and starter for class A environment intended to be connected solely to isolated neutral or high impedance earthed (IT) industrial power distribution networks (see IEC 60364-1) the limits defined for group 2 equipment with a rated power > 75 kVA in Table 8 of CISPR 11:2015 may be applied.								
^a These limits apply to controller and starter with a rated power > 20 kVA and intended to be connected to a dedicated power transformer or generator, and which is not connected to low-voltage (LV) overhead power lines. For controller and starter not intended to be connected to a user specific power transformer the limits for ≤ 20 kVA apply. The manufacturer, and/or supplier shall provide information on installation measures that can be used to reduce emissions from the installed controller and starter. In particular it shall be indicated that this controller or starter is intended to be connected to a dedicated power transformer or generator and not to LV overhead power lines. ^b These limits apply only to high power electronic controller and starter with a rated power greater than 75 kVA when intended to be installed as follows: • installation is supplied from a dedicated power transformer or generator, and which is not connected to low-voltage (LV) overhead power lines, • installation is physically separated from residential environments by distance greater than 30 m or by a structure which acts as a barrier to radiated phenomena, • the manufacturer and/or supplier shall indicate that this controller or starter meets the disturbance voltage limits for high power electronic controller and starter of rated input power > 75 kVA and provide information on installation measures to be applied by the installer. In particular, it shall be indicated that this controller or starter is intended to be used in an installation which is powered by a dedicated power transformer or generator and not by LV overhead power lines. ^c Selection of the appropriate set of limits shall be based on the rated AC power stated by the manufacturer. ^d Decreasing linearly with logarithm of frequency. ^e Environment A and B are defined by IEC 60947-1:2020.								

NOTE A rated input or output power of 20 kVA corresponds for example to a current of approximately 29 A per phase in case of 400 V three-phase power supply networks, and to a current of approximately 58 A per phase in case of 200 V three phase power supply networks. See Annex G.

9.4.3.3 Radiated radio frequency emission test

Descriptions 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 or starters of different power ratings.

The emission shall not exceed the levels given in Table 18.

Table 18 – 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

^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).

9.5 Routine and sampling tests

9.5.1 General

Routine tests are tests to which each individual controller or starter 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 overload relay alone, but a correction may be necessary to allow for the normal ambient conditions.

If devices are tested separately, their combination shall be tested with the dielectric test and other relevant operational tests. However, if the combination is built up with already tested connection systems or auxiliaries, an additional dielectric test is not necessary.

9.5.2 Operation and operating limits

The two following tests shall be carried out.

- 1) Functionality shall be verified by a blocking and commutating capability test according to 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 . No loss of functionality as specified by the manufacturer is permitted.

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

Tests shall be made to verify the calibration of relays. In the case of a time-delay overload relay, this may be a single test with all poles equally energized at a multiple of the current setting, to check that the tripping time conforms (within tolerances) to the curves supplied by the manufacturer. For under-current relays, stall sensitive electronic overload relays and jam sensitive electronic overload relays, tests shall be carried out to verify the proper operation of these relays (see 8.2.1.5.3, 8.2.1.5.4 and 8.2.1.5.5).

9.5.3 Dielectric tests

Subclause 9.3.3.4.2 of IEC 60947-1:2020 applies with the following addition.

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

The impulse and power frequency withstand voltage test may be replaced by a single power-frequency withstand test where the peak value of the sinusoidal wave corresponds to the value of the impulse- or power frequency withstand voltage, whichever is the higher.

At the discretion of the manufacturer, the device incorporating voltage limiting components are to be tested with the following sequences a) to b):

a) Application of the test voltage

The test shall be performed in accordance with 9.3.3.4.2 2) of IEC 60947-1:2020. The value of the test voltage shall be the U_V RMS value (max. operational voltage of the voltage limiting components) or the maximum U_V DC value of the voltage limiting components with a tolerance of -10 %.

Acceptance criteria: the over-current relay of the test apparatus shall not trip (lower tripping limit).

b) Verification of the proper function of the voltage limiting components

The test shall be performed in accordance with 9.3.3.4.2 2) of IEC 60947-1:2020. The value of the test voltage shall be chosen so that a current is generated between the upper tripping limit and the lower tripping limit of the test apparatus.

Acceptance criteria: the current shall be between a) and b) and the voltage limiting component shall not be damaged.

NOTE The main purpose of this test is to check the proper operation of the voltage limiting component.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

Annex A (normative)

Marking and identification of terminals

A.1 General

L.1 of IEC 60947-1:2020 applies with the following additions.

A.2 Marking and identification of terminals of semiconductor controllers and starters

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 (see Table A.1).

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 or starters (see 5.2.5.3), 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

L.2.1 of IEC 60947-1:2020 applies with the following additions.

A.2.2.2 Auxiliary circuits and input/output signal terminals

L.3.2 of IEC 60947-1:2020 applies.

A.3 Marking and identification of terminals of overload relays

L.4 of IEC 60947-1:2020 applies.

Annex B
(xxx)

This page is intentionally left blank.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

Annex C (normative)

Coordination at the crossover current between the starter and associated SCPD

C.1 General and definitions

C.1.1 General

This annex states different methods of verifying the performance of starters and the associated SCPD(s) at currents below and above the intersection I_{co} of their respective time-current characteristics, provided by the starter and SCPD manufacturer(s), and the corresponding types of coordination described in 8.2.5.1.

Coordination at the crossover current between the starter and the SCPD can be verified either by the direct method with the special test of Clause C.2 or, for type "2" coordination, by the indirect method as in Clause C.5.

C.1.2 Terms and definitions

C.1.2.1 crossover current

I_{co}
current corresponding to the crossover point of the mean or published curves representing the time-current characteristics of the overload relay and the SCPD respectively

Note 1 to entry: The mean curves are the curves corresponding to the average values calculated from the tolerances on the time-current characteristics given by the manufacturer.

C.1.2.2 test current

I_{cd}
test current greater than I_{co} , tolerances included, designated by the manufacturer and verified by the requirements given in Table C.1

C.1.2.3 time-current withstand characteristic capability of controllers/starters locus of the currents a controller/starter can withstand as a function of time

C.2 Condition for the test for the verification of coordination at the crossover current by a direct method

The starter and its associated SCPD shall be mounted and connected as in normal use. All the tests shall be performed starting from the cold state.

C.3 Test currents and test circuits

The test circuit shall be according to 9.3.3.5.2 of IEC 60947-1:2020 except that the oscillatory transient voltage need not be adjusted. The currents for the tests shall be as follows:

- (i) $0,75 I_{co} \begin{smallmatrix} 0 \\ -5 \end{smallmatrix} \%$ and
- (ii) $1,25 I_{co} \begin{smallmatrix} +5 \\ 0 \end{smallmatrix} \%$.

The power factor of the test circuit shall be in accordance with Table 10. In the case of small relays having a high resistance, inductors should be mainly used in order to have a value of power factor as low as possible. The recovery voltage shall be 1,05 times the rated operational voltage.

The SCPD shall be as stated in 8.2.5.1 and of the same rating and characteristics as used in the tests of 9.3.4.3.

The starter shall be connected so that it opens when the overload relay operates. Coils, if any, shall be energized from a separate source at the rated control circuit supply voltage.

C.4 Test procedure and results to be obtained

C.4.1 Test procedure

With the starter and the SCPD closed, the test currents stated in Clause C.3 shall be applied by a separate closing device. In each case the device tested shall be at room temperature.

After each test, it is necessary to inspect the SCPD, reset the overload relay and the release of the circuit-breaker, if necessary, or to replace all fuses if at least one of them has melted.

C.4.2 Results to be obtained

After the test at the lower current (i) in Clause C.3, the SCPD shall not have operated and the overload relay or release shall have operated to open the starter. There shall be no damage to the starter.

After the test at the higher current (ii) in Clause C.3, the SCPD shall have operated before the starter. The starter shall meet the conditions of 9.3.4.3.2 for the type of coordination stated by the manufacturer.

C.5 Verification of coordination at the crossover current by an indirect method

C.5.1 General

NOTE For type "1" coordination, the indirect method can be different from the method described in this annex and is under consideration. For this reason, the indirect method for the verification of coordination at the crossover point is only applicable for type "2" coordination.

The indirect method consists in verifying on a diagram (see Figure C.1) that the following conditions for the verification of coordination at the crossover current are met:

- the time-current characteristic of the overload relay/release, starting from cold state, supplied by the manufacturer, shall indicate how the tripping time varies with the current up to a value of at least I_{co} ; this curve has to lie below the time-current characteristic of the SCPD up to I_{co} ;
- I_{cd} of the starter, tested as in C.5.2, shall be higher than I_{co} ;
- the time-current withstand characteristic of the controller, tested as in C.5.3, shall be above the time-current characteristic (starting from cold state) of the overload relay up to I_{co} .

C.5.2 Test for I_{cd}

Subclause 9.3.4.1 applies with the following addition.

- Test procedure: the controller or starter shall make and break the test current (I_{cd}) for the number of operating cycles given in Table C.1. This is made without the SCPD in the circuit.

Table C.1 – Test conditions

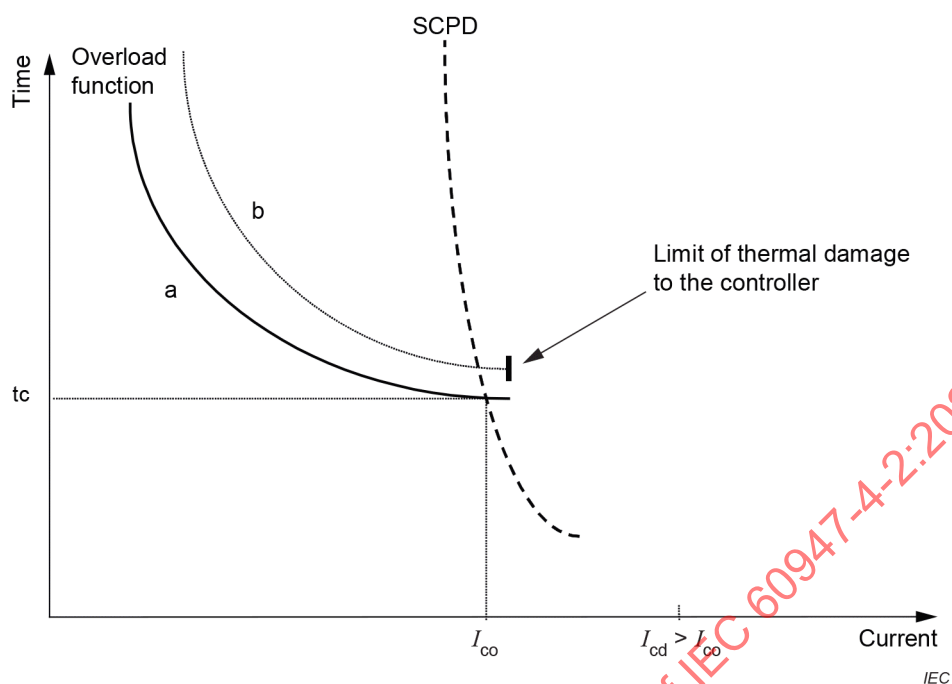
	U_i/U_e	$\cos \phi$	ON-time (see NOTE 2) s	OFF-time s	Number of operations
I_{cd}	1,05	See NOTE 1	0,05	See NOTE 3	3
NOTE 1 Power factor to be selected according to Table 16 of: IEC 60947-1:2020.					
NOTE 2 Time may be less than 0,05 s provided that contacts, if any, are allowed to become properly seated before re-opening.					
NOTE 3 See Table 10.					

- Behaviour of controllers or starters during and after the I_{cd} test:
 - a) during the test, there shall be no permanent arcing, no flash-over between poles, no blowing of the fusible element in the earth circuit (see 9.3.4.1.2) and no welding of contacts;
 - b) after the test,
 - 1) the controller or starter shall operate correctly when switched by the applicable method of control;
 - 2) the dielectric properties of the controller and starter shall be verified by a dielectric test on the controller or starter using an essentially sinusoidal test voltage of twice the rated operational voltage U_e used for the I_{cd} test, with a minimum of 1 000 V. The test voltage shall be applied for 5 s, as specified in 9.3.3.4.1, items (2) c) i) and (2) c) ii).

C.5.3 Time-current characteristic withstand capability of controllers/starters

This characteristic is issued by the manufacturer at least up to I_{co} .

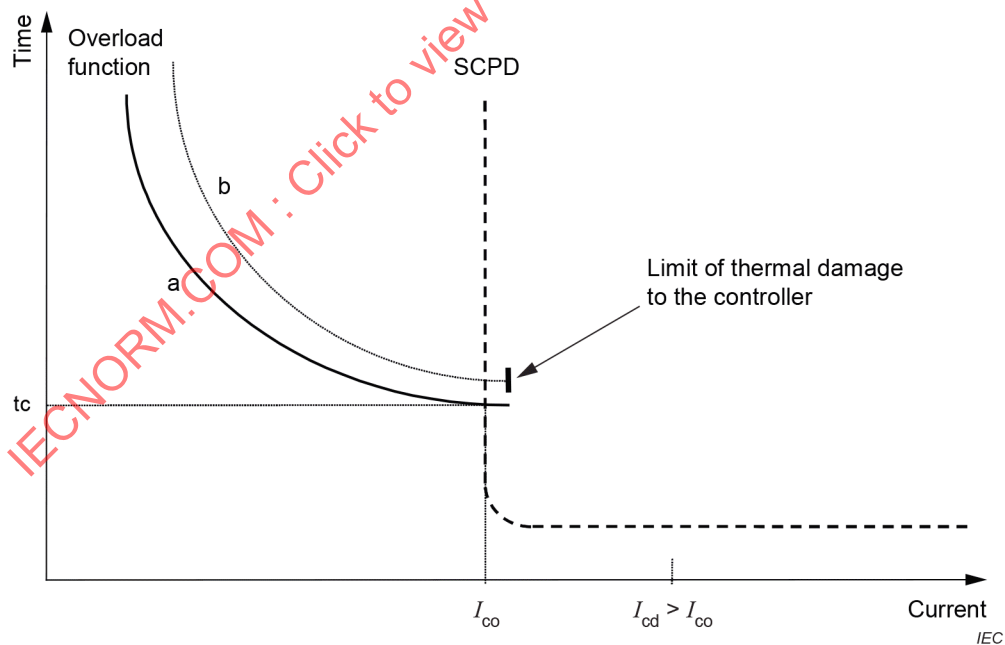
This characteristic is valid for overload currents, starting with the controller/starter at room temperature. The minimum cooling duration required by the controller/starter between two such overload tests should be stated by the manufacturer.



Key

- a mean overload time-current characteristic from cold state
- b time-current characteristic withstand capability of controller

a) Coordination with fuse



Key

- a mean overload relay time-current characteristic from cold state
- b time-current characteristic withstand capability of controller

b) Coordination with circuit-breaker

Figure C.1 – Examples of time-current withstand characteristic

Annex D
(xxx)

This page is intentionally left blank.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

Annex E
(xxx)

This page is intentionally left blank.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

Annex F (informative)

Operating capability

The three operating capability test profiles required in 9.3.3.6 are illustrated by Figure F.1 for the thermal stability, Figure F.2 for the overload capability, and Figure F.3 for the blocking and commutating capability.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

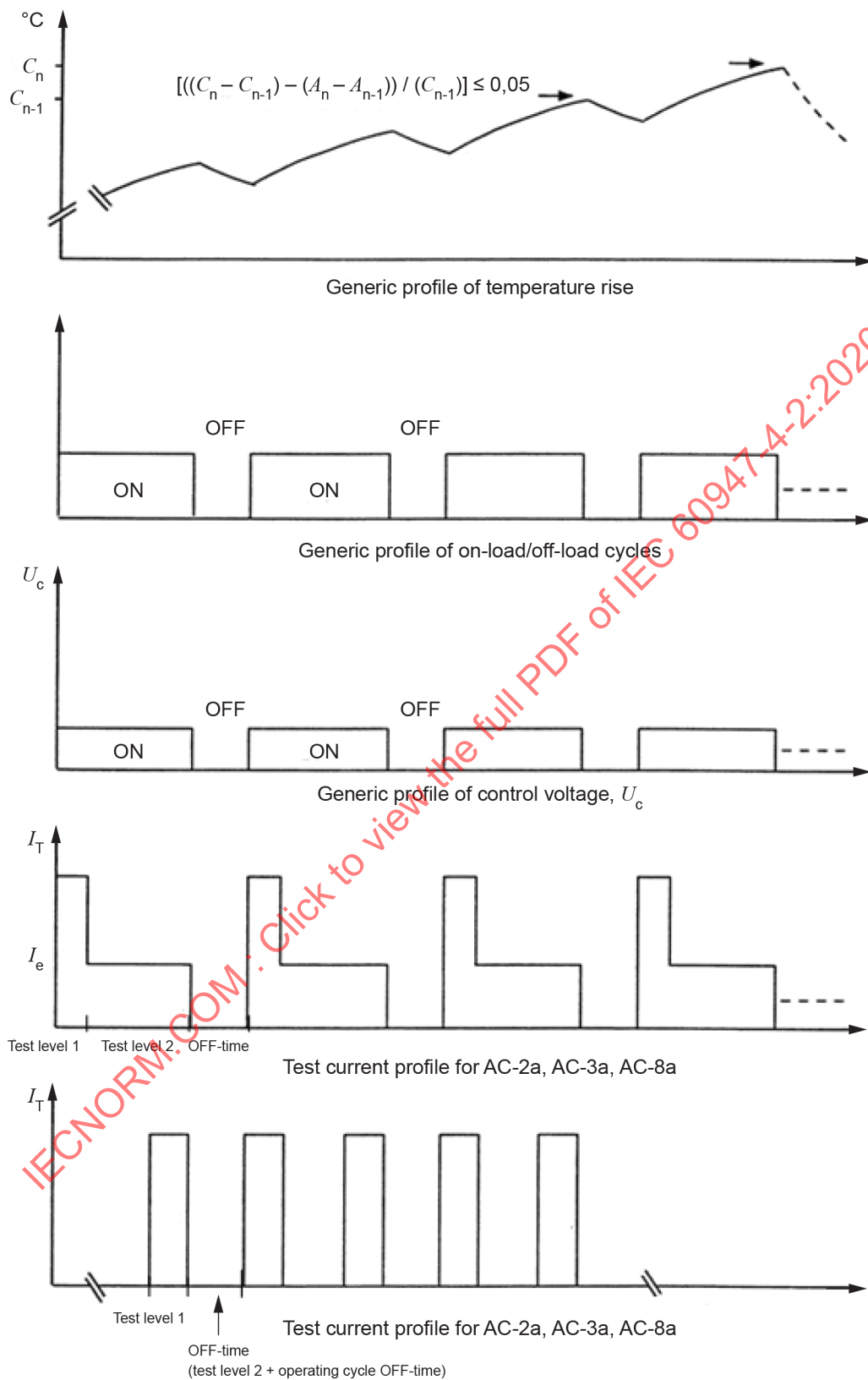
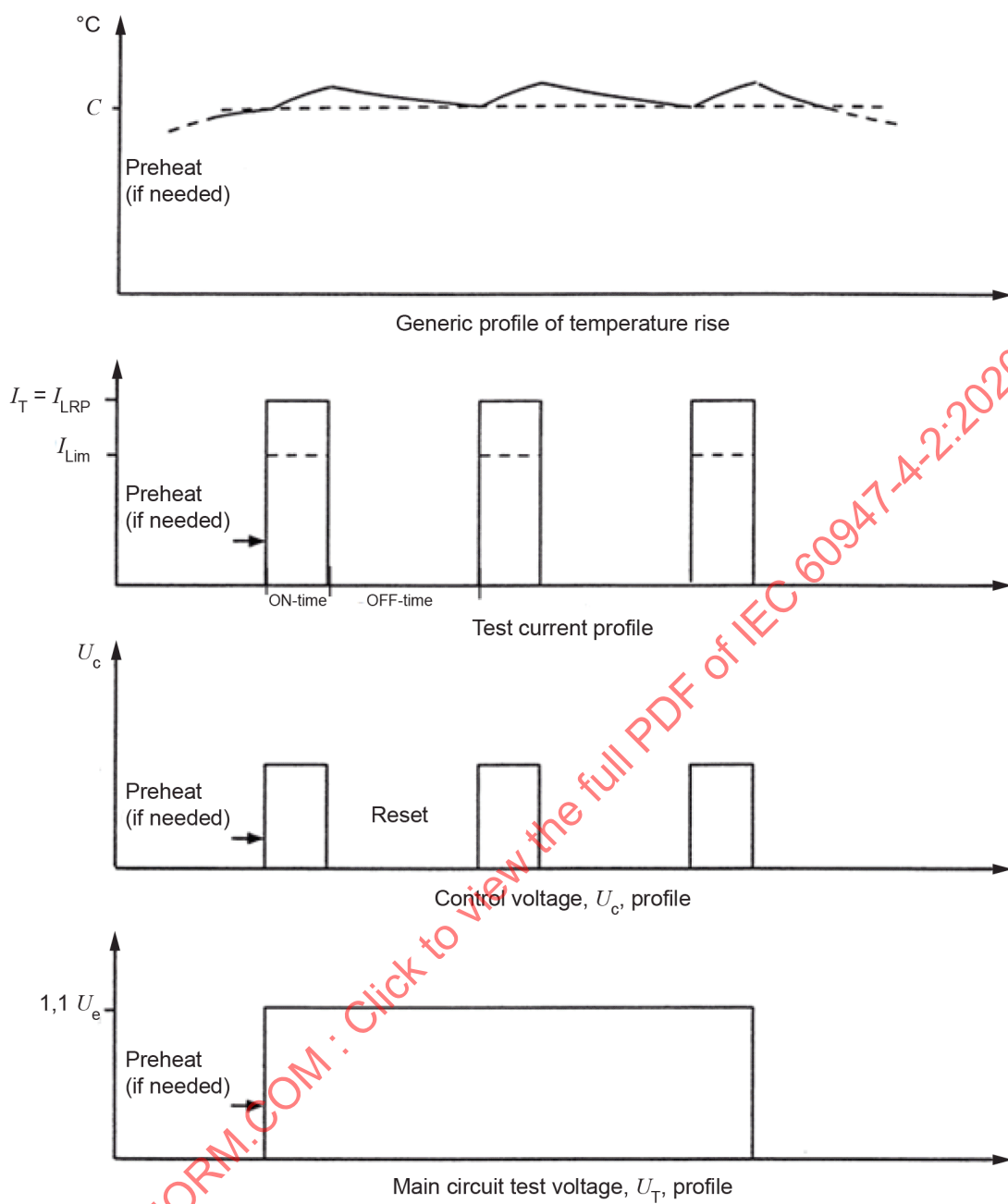
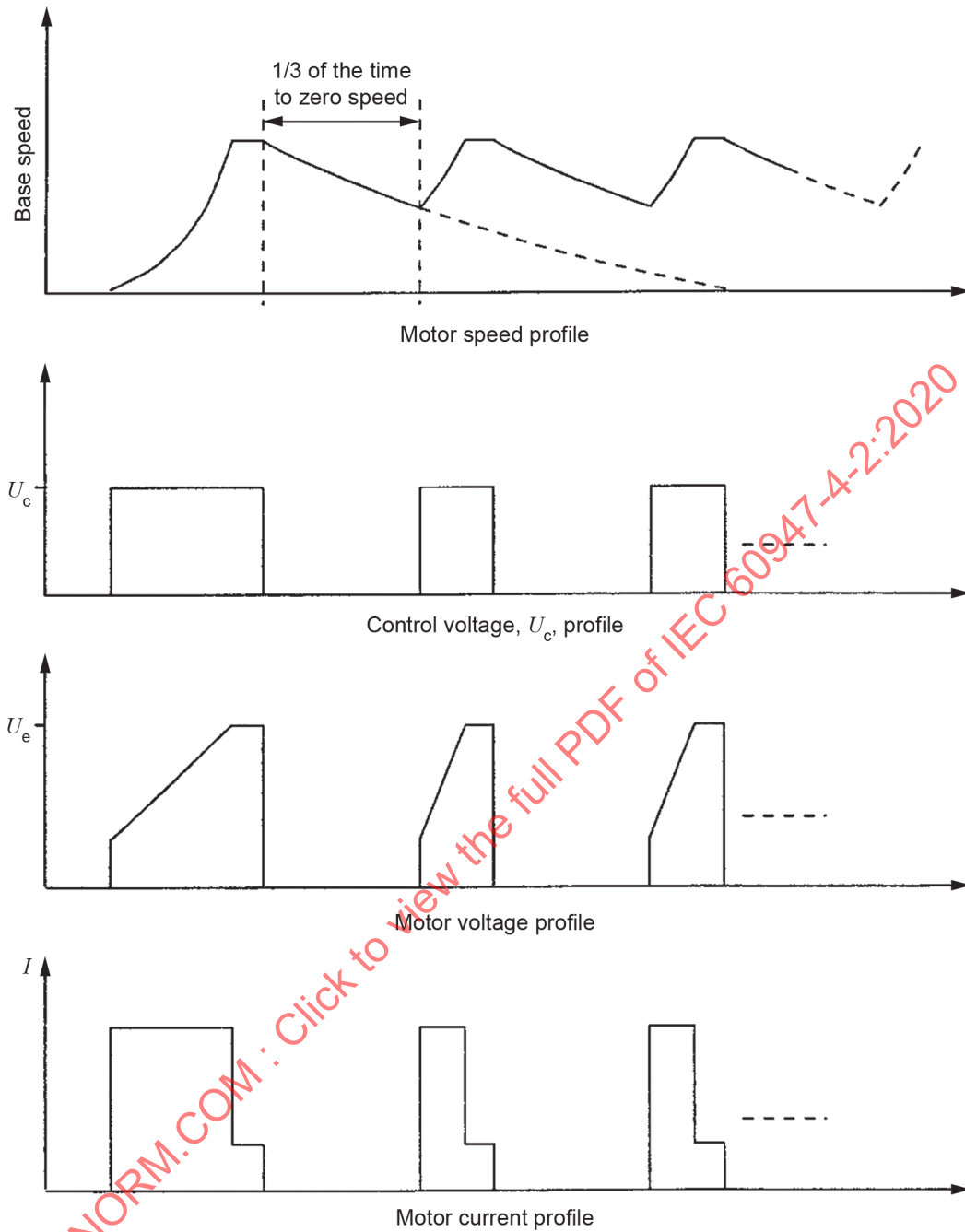


Figure F.1 – Thermal stability test profile

**Figure F.2 – Overload capability test profile**



IEC

Figure F.3 – Blocking and commutating capability test profile

Annex G (informative)

Rated operational currents and rated operational powers of switching devices for electrical motors

G.1 General

The given values in Table G.1 are guide values for the relationship between rated operational currents and rated operational powers. They should be considered for use when information concerning products has to be given to the customer.

The statements of this annex are applicable to all kind of switching devices for electrical motors.

The figures are harmonized within the IEC and therefore state the basis for all the product information given by the manufacturer.

The values given in the Table G.1 are typical rated operational currents ($\pm 5\%$) of motors for the corresponding rated operational powers. Design NE and HE motors are within the given variation of $\pm 5\%$.

If the devices are in compliance with these values, they are able to switch on and off most of the existing electrical motors.

These values state a harmonized guideline for design of switching devices

G.2 Rated operational powers and rated operational currents

Rated operational power is linked with individual rated operational currents at different voltages according to Table G.1:

The guide values for rated operational currents are determined on the basis of a four-pole squirrel-cage motor at 400 V, 1 500 min⁻¹ and 50 Hz. The rated operational currents for the other voltages are calculated on the basis of values at 400 V.

Table G.1 – Rated operational powers and rated operational currents of motors

Rated operational power		Guide values of rated operational currents at										
kW ^a	hp ^b	110 V to 120 V	200 V	208 V	230 V	220 V to 240 V	380 V to 415 V	400 V	440 V to 480 V	500 V	550 V to 600 V	690 V
		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0,06	–	–	–	–	0,35	–	–	0,20	–	0,16	–	0,12
0,09	–	–	–	–	0,52	–	–	0,30	–	0,24	–	0,17
0,12	–	–	–	–	0,70	–	–	0,44	–	0,32	–	0,23
0,18	–	–	–	–	1,0	–	–	0,60	–	0,48	–	0,35
0,25	–	–	–	–	1,5	–	–	0,85	–	0,68	–	0,49
0,37	–	–	–	–	1,9	–	–	1,10	–	0,88	–	0,64
–	1/2	4,4	2,5	2,4	–	2,2	1,3	–	1,1	–	0,9	–
0,55	3/4	–	–	–	2,6	–	–	1,5	–	1,2	–	0,87
–	1	6,4	3,7	3,5	–	3,2	1,8	–	1,6	–	1,3	–
–	1	8,4	4,8	4,6	–	4,2	2,3	–	2,1	–	1,7	–
0,75	–	–	–	–	3,3	–	–	1,9	–	1,5	–	1,1
1,1	–	–	–	–	4,7	–	–	2,7	–	2,2	–	1,6
–	1-1/2	12,0	6,9	6,6	–	6,0	3,3	–	3,0	–	2,4	–
–	2	13,6	7,8	7,5	–	6,8	4,3	–	3,4	–	2,7	–
1,5	–	–	–	–	6,3	–	–	3,6	–	2,9	–	2,1
2,2	–	–	–	–	8,5	–	–	4,9	–	3,9	–	2,8
–	3	19,2	11,0	10,6	–	9,6	6,1	–	4,8	–	3,9	–
3,0	–	–	–	–	11,3	–	–	6,5	–	5,2	–	3,8
4	–	–	–	–	15	–	–	8,5	–	6,8	–	4,9
5,5	5	30,4	17,5	16,7	–	15,2	9,7	–	7,6	–	6,1	–
–	–	–	–	–	20	–	–	11,5	–	9,2	–	6,7
7-1/2	10	44,0	25,3	24,2	–	22,0	14,0	–	11,0	–	9,0	–
–	–	56,0	32,2	30,8	–	28,0	18,0	–	14,0	–	11,0	–
7,5	–	–	–	–	27	–	–	15,5	–	12,4	–	8,9
11	–	–	–	–	38,0	–	–	22,0	–	17,6	–	12,8
15	15	84	48,3	46,2	–	42,0	27,0	–	21,0	–	17,0	–
–	20	108	62,1	59,4	–	54,0	34,0	–	27,0	–	22,0	–
15	–	–	–	–	51	–	–	29	–	23	–	17
18,5	–	–	–	–	61	–	–	35	–	28	–	21
–	25	136	78,2	74,8	–	68	44	–	34	–	27	–

[illegible]

Rated operational power		Guide values of rated operational currents at										
kW ^a	hp ^b	110 V to 120 V	200 V	208 V	230 V	220 V to 240 V	380 V to 415 V	400 V	440 V to 480 V	500 V	550 V to 600 V	690 V
		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
315	–	–	–	–	940	–	–	540	–	432	–	313
–	450	–	–	–	–	1 030	–	–	515	–	412	–
335	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
355	–	–	–	–	1 061	–	–	610	–	488	–	354
–	500	–	–	–	–	1 180	786	–	590	–	472	–
375	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
400	–	–	–	–	1 200	–	–	690	–	552	–	400
425	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
450	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
475	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
500	–	–	–	–	1 478	–	–	850	–	680	–	493
530	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
560	–	–	–	–	1 652	–	–	950	–	760	–	551
600	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
630	–	–	–	–	1 844	–	–	1 060	–	848	–	615
670	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
710	–	–	–	–	2 070	–	–	1 190	–	952	–	690
750	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
800	–	–	–	–	2 340	–	–	1 346	–	1 076	–	780
850	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
900	–	–	–	–	2 640	–	–	1 518	–	1 214	–	880
950	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1 000	–	–	–	–	2 910	–	–	1 673	–	1 339	–	970

^a Preferred rated values according to IEC 60072-1:1991 (primary series).

^b Horsepower and currents values according to NFPA 70, National Electrical Code and CSA C22.1 Canadian Electrical Code.

Annex H

(xxx)

This page is intentionally left blank.

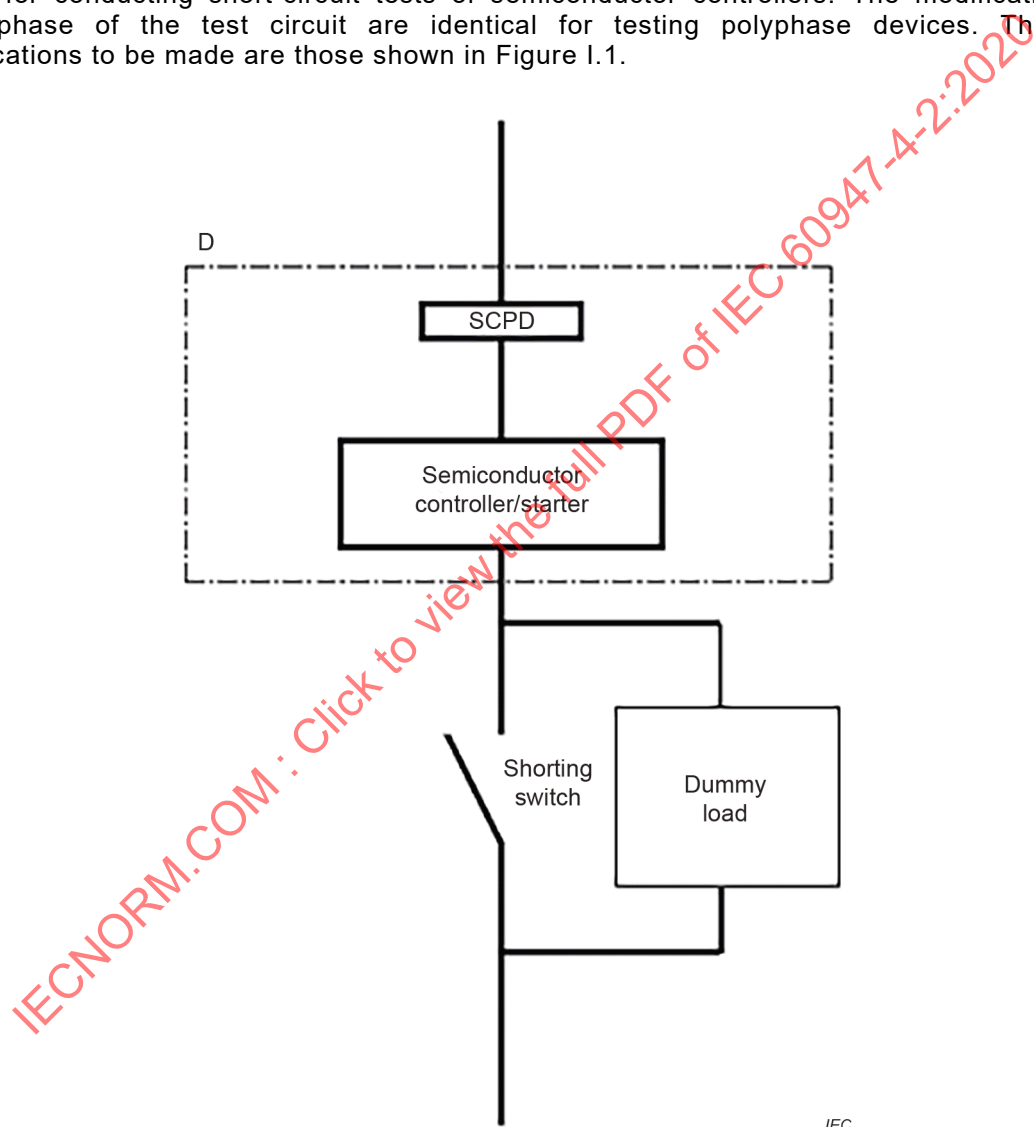
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

Annex I (normative)

Modified test circuit for short-circuit testing of semiconductor motor controllers and starters

The standard circuits for short-circuit tests are illustrated in Figures 9 to 12 of IEC 60947-1:2020.

The diagram in Figure I.1 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 Figure I.1.

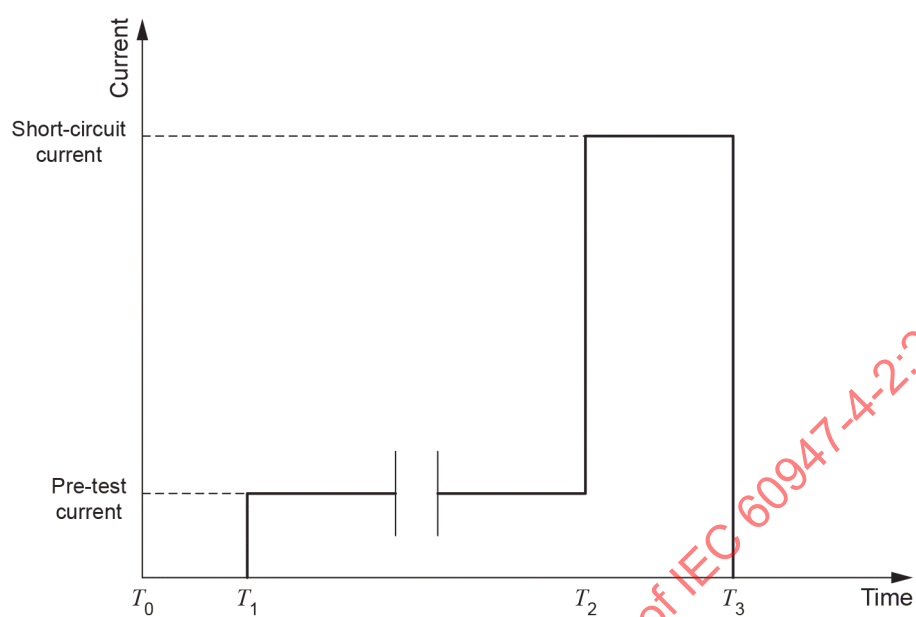


Key

D 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

**Key**

- T_0 shorting switch opens (9.3.4.1.6 a))
- T_1 test circuit is energized (9.3.4.1.6 b))
- T_2 shorting switch is closed (9.3.4.1.6 c))
- T_3 SCPD clears the fault

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

Annex J
(xxx)

This page is intentionally left blank.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

Annex K
(xxx)

This page is intentionally left blank.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

Annex L (normative)

Examples of overvoltage category reduction

L.1 General

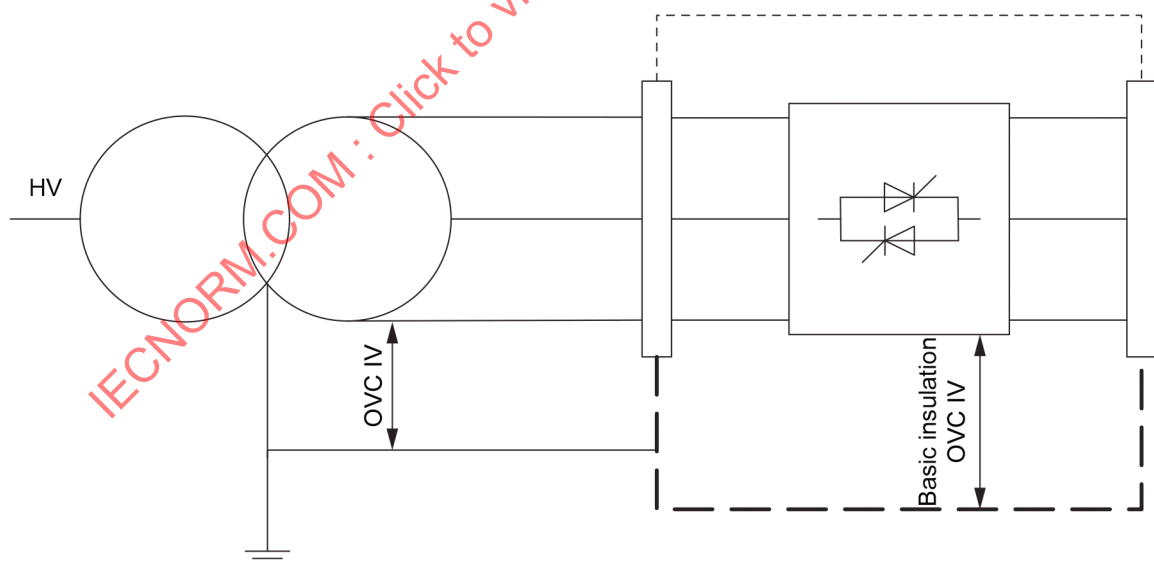
Figure L.1 to Figure L.9 are intended as illustrations of the requirements in 8.1.4, 8.2.3, and 8.1.14 of this document and Annex N of IEC 60947-1:2020. They are not intended as indications of good design practice. Table L.1 gives the drawing keys used in the figures.

Table L.1 – Drawing keys

-----	Basic protection
-----	Conductive accessible parts
- . - . - . - .	Protective separation
SPD	Surge protection device (example of measure to reduce transient overvoltages)
OVC	Overvoltage category. See Annex H of IEC 60947-1:2020 for correlation of overvoltage category to impulse voltage.

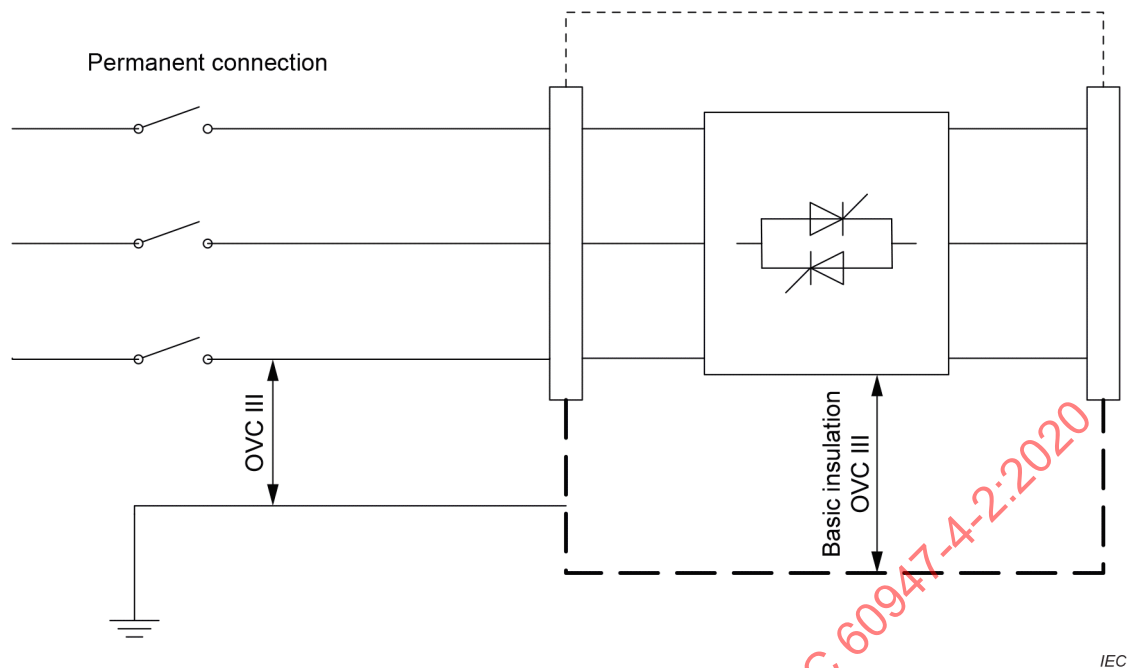
L.2 Insulation to the surroundings

L.2.1 Circuits connected directly to the supply mains



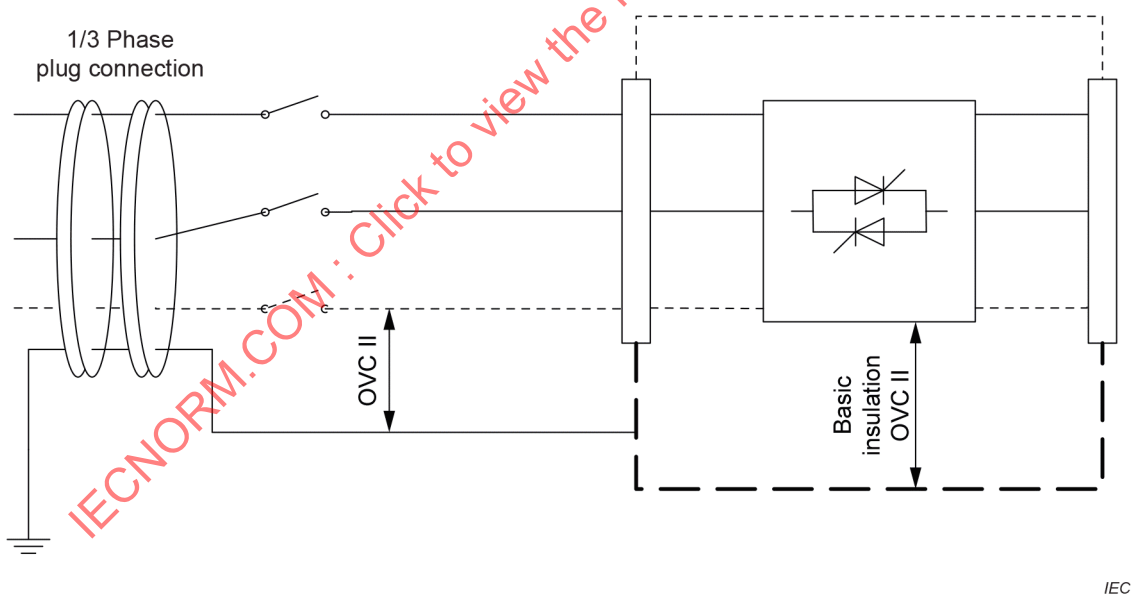
NOTE See Table L.1 for keys.

Figure L.1 – Basic insulation evaluation for circuits connected directly to the origin of the installation mains supply



NOTE See Table L.1 for keys.

Figure L.2 – Basic insulation evaluation for circuits connected directly to the mains supply

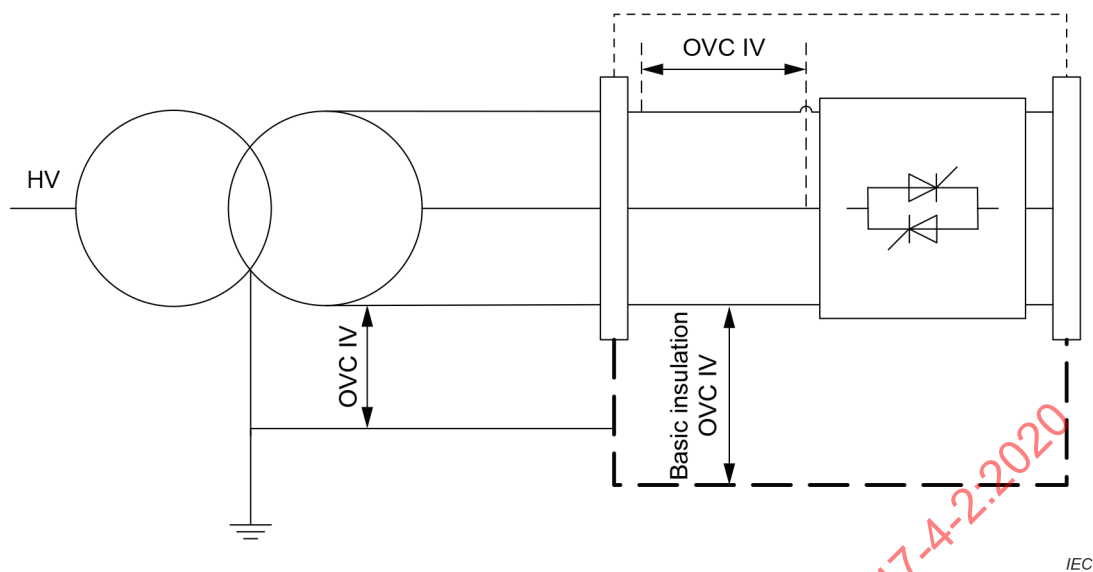


NOTE See Table L.1 for keys.

Figure L.3 – Basic insulation evaluation for equipment not permanently connected to the mains supply

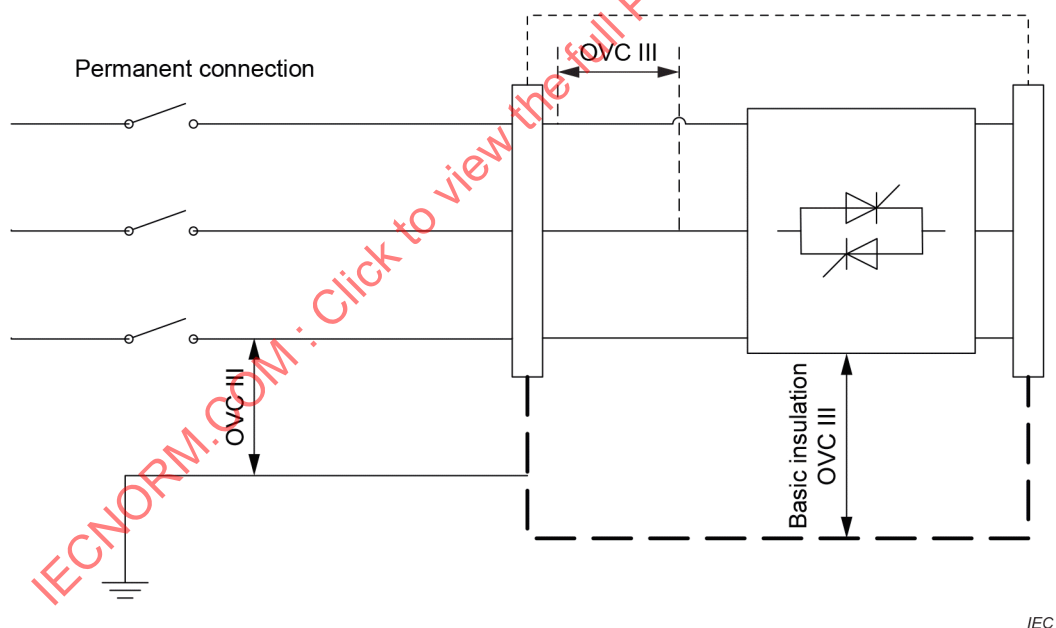
L.2.2 Insulation between circuits

Insulation between two circuits that are declared galvanically separated shall be designed according to the circuit having the more severe requirement.



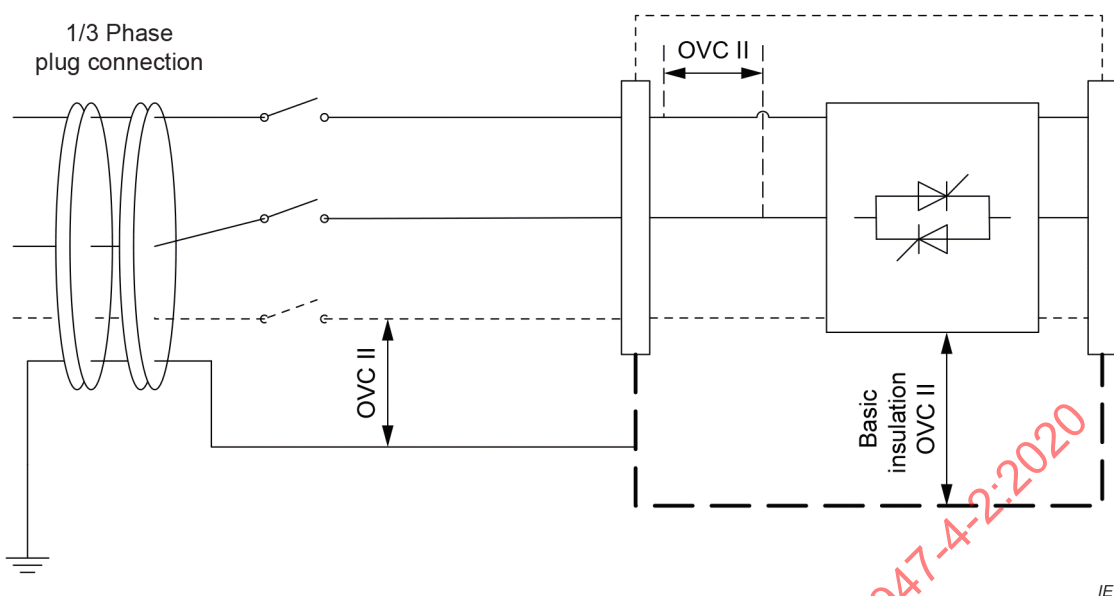
NOTE See Table L.1 for keys.

Figure L.4 – Basic insulation evaluation for insulation between circuits connected directly to the origin of the installation mains supply and that are declared galvanically separated



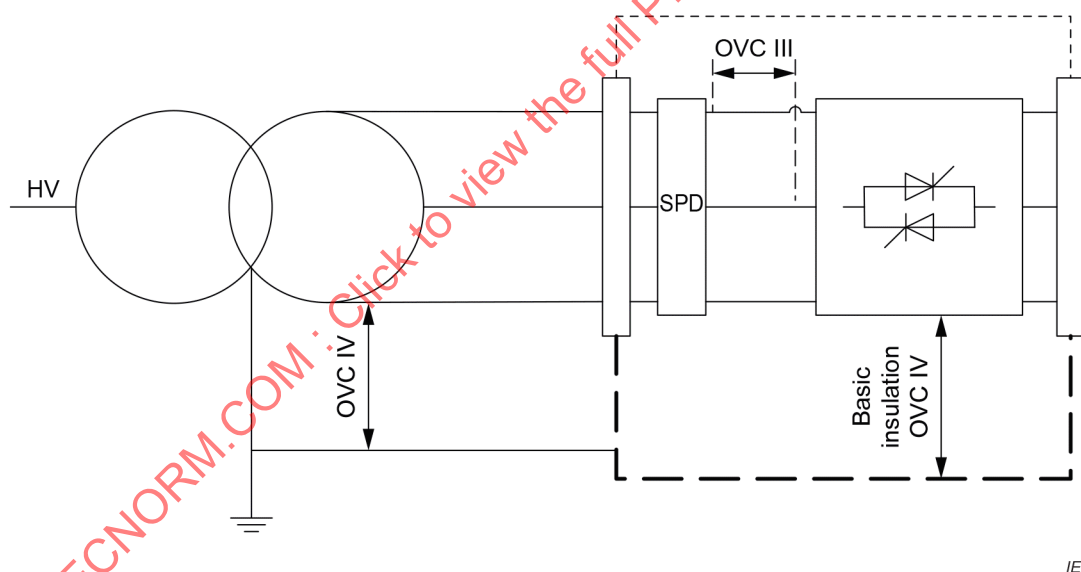
NOTE See Table L.1 for keys.

Figure L.5 – Basic insulation evaluation for insulation between circuits connected directly to the mains supply and that are declared galvanically separated



NOTE See Table L.1 for keys.

Figure L.6 – Basic insulation evaluation for insulation between circuits not permanently connected directly to the mains supply and that are declared galvanically separated

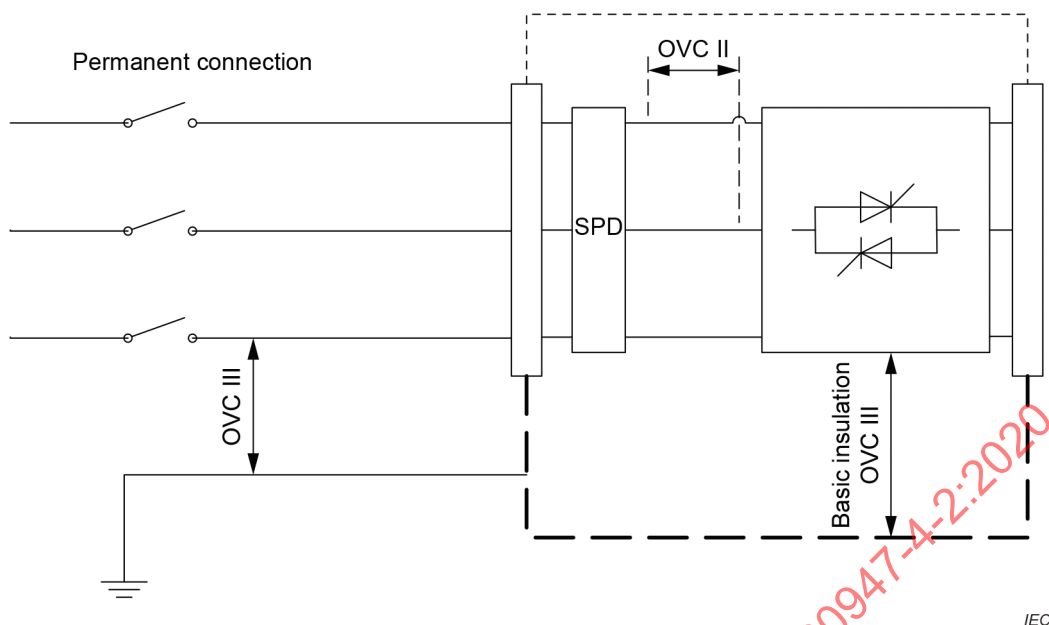


NOTE 1 See Table L.1 for keys.

NOTE 2 Refer to 8.1.14.

The SPD shall be monitored. A designated SCPD could also be used for monitoring for a SPD.

Figure L.7 – Basic insulation evaluation for insulation between circuits connected directly to the origin of the installation mains supply and that are declared galvanically separated where internal SPDs are used

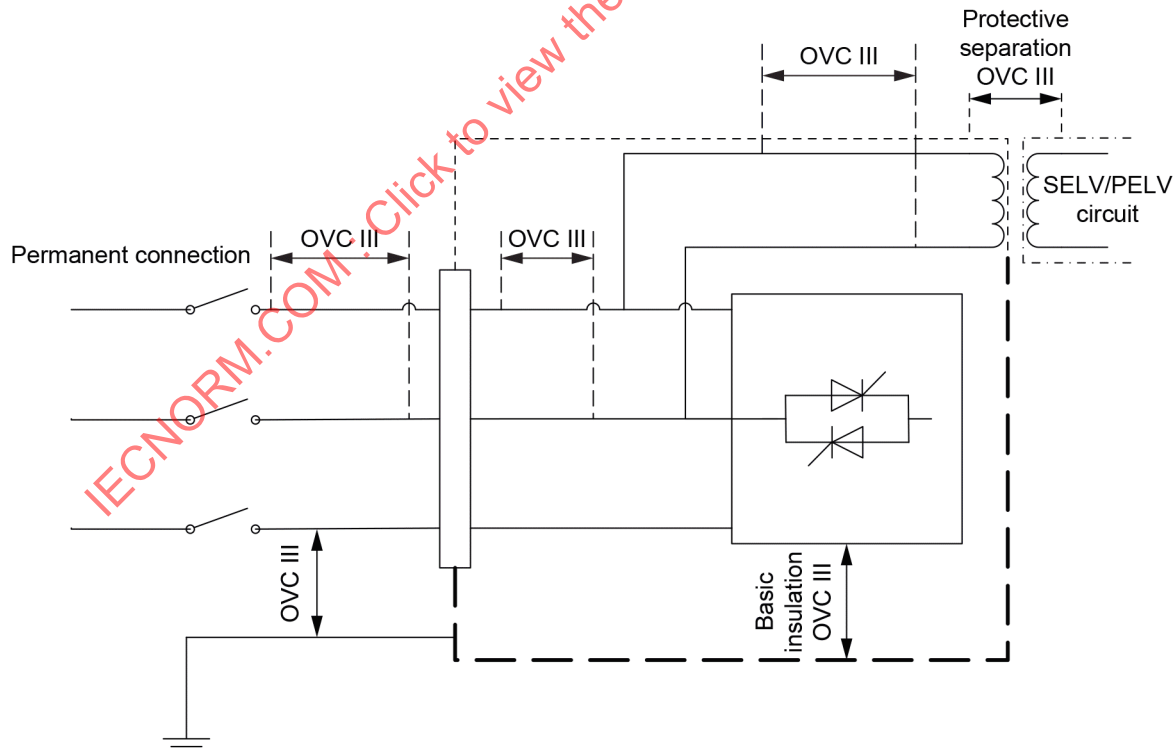


NOTE 1 See Table L.1 for keys.

NOTE 2 Refer to 8.1.14.

The SPD shall be monitored. A designated SCPD could also be used for monitoring for a SPD.

Figure L.8 – Basic insulation evaluation for insulation between circuits connected directly to the mains supply and that are declared galvanically separated where internal SPDs are used



NOTE 1 See Table L.1 for keys.

NOTE 2 Refer to 8.1.14.

Figure L.9 – Basic insulation evaluation for insulation between circuits connected directly to the mains supply and that are declared galvanically separated

Annex M
(xxx)

This page is intentionally left blank.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

Annex N (normative)

Additional requirements and tests for equipment with protective separation

N.1 General

The purpose of this annex is to provide additional requirements to Annex N of IEC 60947-1:2020.

N.2 Definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions of Clause N.2 of IEC 60947-1:2020, as well as the following terms and definitions applies.

N.2.1

touch current

electric current passing through a human body or through an animal body when it touches one or more accessible parts of an electrical installation or electrical equipment

[SOURCE: IEC 60050-826:2004-08, 826-11-12]

N.3 Requirements

N.3.1 Test method for implementing protective impedance

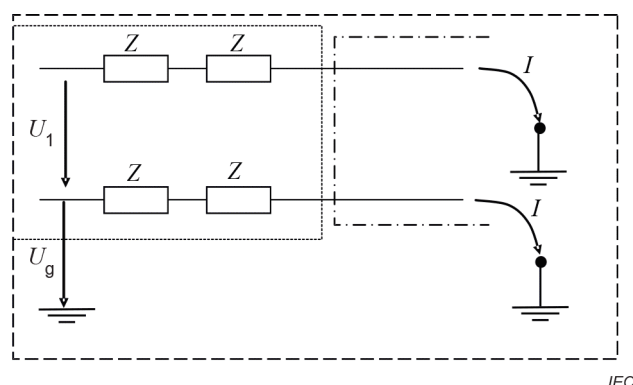
Protective impedance shall be arranged so that under both normal and single fault conditions, according respectively to 4.2 and 4.3 of IEC 61140:2016, the touch current and the discharge energy available shall be limited.

The protective impedances shall be designed and tested to withstand the impulse voltages and temporary overvoltages for the circuits to which they are connected.

Compliance with the requirement for the limitation of touch current is checked by test of N.3.2.

Compliance with a limited value of 0,5 mJ for the discharge energy shall be checked by performing calculations and/or measurements to determine the voltage and capacitance.

Figure N.1 show examples of the method used to implement protective impedance.

**Key**

- Z impedance
- U_1 hazardous voltage, earthed or unearthed
- U_g hazardous voltage in a fault condition to earth
- I touch current

NOTE 1 To provide protection in single-fault conditions, use the following equation $I = \frac{U_g}{Z}$.

NOTE 2 This figure is derived from Figure A.2 of IEC 62477-1:2012.

Figure N.1 – Protection by means of protective impedance

N.3.2 Touch current measurement

The equipment under test shall be set up in an insulated state without any connection to the earth and shall be operated at rated voltage. Under these conditions, the touch current shall be measured between the touchable parts and the earth according to the test circuit of Figure N.2.

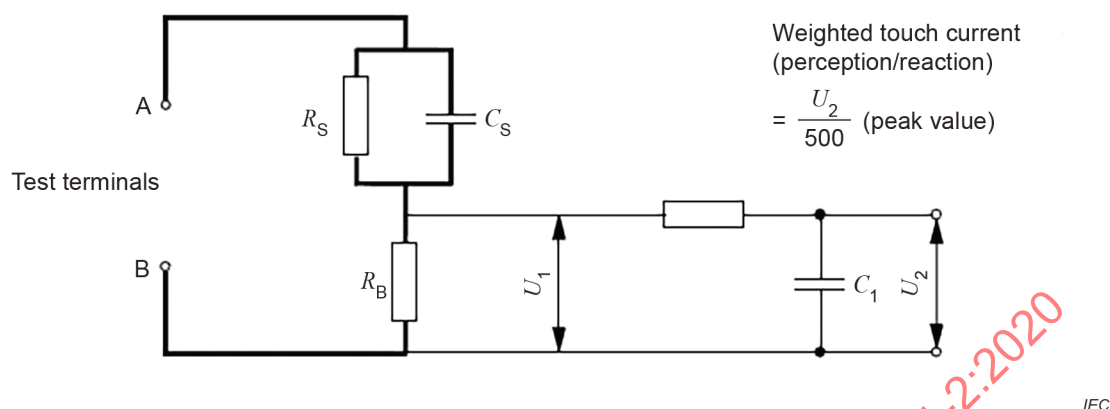
For an equipment to be connected to an earthed neutral system, the neutral of the mains of the test site shall be directly connected to earth.

For an equipment to be connected to an earthed neutral system or impedance system, the neutral of the mains of the test circuit shall be directly connected to each.

The following maximum values of touch current (AC values for frequencies up to 100 Hz) are permitted:

- a steady-state current flowing between simultaneously accessible conductive parts not exceeding 0.5 mA AC or direct current under normal operating conditions;
- values not exceeding 3.5 mA AC or 10 mA DC under single fault conditions.

As shown in Figure N.2, the voltage U_2 is measured and the current is calculated by dividing the measured voltage U_2 by 500 Ω .



Voltmeter or oscilloscope (RMS or peak reading)

input resistance: $>1 \text{ M}\Omega$

input capacitance: $< 200 \text{ pF}$

frequency range: 15 Hz up to 1 MHz (appropriate for the highest frequency of interest)

Key

R_S 1 500 Ω

R_B 500 Ω

R_1 10 k Ω

C_S 0,22 μF

C_1 0,022 μF

NOTE The measuring test circuit of this figure is reproduced from Figure 4 of IEC 60990:2016.

Figure N.2 – Measuring instrument

Electrical measuring instruments shall have adequate bandwidth to provide accurate readings, taking into account all components (direct current, alternating current mains supply frequency, high frequency and harmonic content) of the parameter being measured. If the RMS value is measured, care shall be taken that measuring instruments give true RMS readings of non-sinusoidal waveforms as well as sinusoidal waveforms.

Bibliography

IEC 60034-30-1, *Rotating electrical machines – Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code)*

IEC 60050-151:2001, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050-151:2001/AMD1:2013

IEC 60050-151:2001/AMD2:2014

IEC 60050-151:2001/AMD3:2019

IEC 60050-195:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 195: Earthing and protection against electric shock*

IEC 60050-195:1998/AMD1:2001

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

IEC 60050-441:1984/AMD1:2000

IEC 60050-442:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 442: Electrical accessories*

IEC 60050-442:1998/AMD1:2015

IEC 60050-442:1998/AMD2:2015

IEC 60050-442:1998/AMD3:2019

IEC 60050-826:2004, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 826: Electrical installations*

IEC 60068-2-2:2007, *Environmental testing – Part 2-2: Tests – Test B: Dry heat*

IEC 60072-1:1991, *Dimensions and output series for rotating electrical machines – Part 1: Frame numbers 56 to 400 and flange numbers 55 to 1080*

IEC 60079 (all parts), *Explosive atmospheres*

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

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

IEC 60364-1, *Low-voltage electrical installations – Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions*

IEC 60417, *Graphical symbols for use on equipment* (available at <http://www.graphical-symbols.info/equipment>)

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

IEC 60947-2, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 2: Circuit-breakers*

IEC 60947-3, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 3: Switches, disconnectors, switch-disconnectors and fuse-combination units*

IEC 60947-4-1, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 4-1: Contactors and motor-starters – Electromechanical contactors and motor-starters*

IEC 60947-4-3, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 4-3: Contactors and motor-starters – AC semiconductor controllers and contactors for non-motor loads*

IEC 60990:2016, *Methods of measurement of touch current and protective conductor current*

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

IEC 61032, *Protection of persons and equipment by enclosures – Probes for verification*

IEC 61800 (all parts), *Adjustable speed electrical power drive systems*

IEC 62443 (all parts), *Security for industrial automation and control systems*

IEC 62477-1:2012, *Safety requirements for power electronic converter systems and equipment – Part 1: General*
IEC 62477-1:2012/AMD1:2016

IEC 62683-1, *Low-voltage switchgear and controlgear – Product data and properties for information exchange – Part 1: Catalogue data*

IEC TR 63054, *Low-voltage switchgear and controlgear – Fire risk analysis and risk reduction measures*

IEC TS 63058², *Environmental aspects for low-voltage switchgear and controlgear and their assemblies*

IEC TR 63201, *Low-voltage switchgear and controlgear – Guidance for the development of embedded software*

IEC TS 63208, *Low-voltage switchgear and controlgear – Security aspects*

IEC Guide 104:2019, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications*

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

ISO/IEC Guide 51:2014, *Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards*

ISO 3864-2, *Graphical symbols – Safety colours and safety signs – Part 2: Design principles for product safety labels*

NFPA 70, *National Electrical Code*

CSA C22.1, *Canadian Electrical Code (CE Code)*

UL 508:2013, *Industrial Control Equipment*

² Under preparation. Stage at the time of publication: IEC/APUB 63058:2020.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	120
INTRODUCTION	122
1 Domaine d'application	123
2 Références normatives	124
3 Termes, définitions, symboles et termes abrégés	125
3.1 Termes et définitions	125
3.1.1 Termes et définitions concernant les types de gradateurs et démarreurs à semiconducteurs de moteurs	125
3.1.2 Termes et définitions concernant les gradateurs et démarreurs à semiconducteurs de moteurs	127
3.1.3 Termes et définitions concernant les aspects de sécurité	131
3.1.4 Index alphabétique des termes	132
3.2 Symboles et termes abrégés	134
4 Classification	134
5 Caractéristiques des gradateurs et démarreurs à semiconducteurs de moteurs	134
5.1 Enumération des caractéristiques	134
5.2 Type de matériel	135
5.2.1 Nature du matériel	135
5.2.2 Nombre de pôles	135
5.2.3 Nature du courant	135
5.2.4 Milieu de coupure (air, vide, etc.)	135
5.2.5 Conditions de fonctionnement du matériel	135
5.3 Valeurs assignées et valeurs limites des circuits principaux	136
5.3.1 Tensions assignées	136
5.3.2 Courants	138
5.3.3 Fréquence assignée	139
5.3.4 Valeurs et séquences du cycle de service	139
5.3.5 Caractéristiques en conditions normales de charge et en conditions de surcharge	139
5.3.6 Courant conditionnel de court-circuit assigné	141
5.3.7 Puissance dissipée du gradateur à semiconducteurs de moteurs	141
5.4 Catégorie d'emploi	142
5.4.1 Généralités	142
5.4.2 Attribution des caractéristiques assignées suivant les résultats d'essais	142
5.5 Circuits de commande	143
5.6 Circuits auxiliaires	143
5.7 Caractéristiques des relais et déclencheurs (relais de surcharge)	144
5.7.1 Enumération des caractéristiques	144
5.7.2 Types du relais ou du déclencheur	144
5.7.3 Valeurs caractéristiques	144
5.7.4 Désignation et courants de réglage des relais de surcharge	145
5.7.5 Caractéristiques temps-courant des relais de surcharge	146
5.7.6 Influence de la température de l'air ambiant	146
5.8 Coordination avec les dispositifs de protection contre les courts-circuits (DPCC)	146
6 Informations sur le produit	147
6.1 Nature des informations	147

6.2	Marquage	148
6.3	Instructions d'installation, de fonctionnement, de maintenance, de mise hors service et de démontage	149
6.4	Informations relatives à l'environnement	149
7	Conditions de service normal, de montage et de transport	149
7.1	Conditions de service normal	149
7.1.1	Température de l'air ambiant	149
7.1.2	Altitude	150
7.1.3	Conditions atmosphériques	150
7.1.4	Chocs et vibrations	150
7.2	Conditions pendant le transport et le stockage	150
7.3	Montage	150
7.4	Perturbations du réseau électrique et influences	150
8	Exigences relatives à la construction et aux performances	151
8.1	Exigences relatives à la construction	151
8.1.1	Généralités	151
8.1.2	Matériaux	151
8.1.3	Parties transportant le courant et leurs connexions	152
8.1.4	Distances d'isolement et lignes de fuite	152
8.1.5	Organe de commande	152
8.1.6	Indication de la position des contacts	152
8.1.7	Exigences supplémentaires pour les matériels aptes au sectionnement	152
8.1.8	Bornes	152
8.1.9	Exigences supplémentaires relatives aux matériels dotés d'un pôle neutre	153
8.1.10	Dispositions pour assurer la mise à la terre de protection	153
8.1.11	Enveloppes pour le matériel	153
8.1.12	Degrés de protection du matériel sous enveloppe	153
8.1.13	Traction, torsion et flexion avec des conduits métalliques	153
8.1.14	Source d'énergie limitée	153
8.1.15	Circuit d'énergie de charge emmagasinée	156
8.1.16	Conditions anormales et de défaut	156
8.1.17	Protection des accès contre les courts-circuits et les surcharges	157
8.2	Exigences relatives au fonctionnement	157
8.2.1	Conditions de fonctionnement	157
8.2.2	Echauffement	162
8.2.3	Propriétés diélectriques	164
8.2.4	Exigences de fonctionnement dans des conditions normales de charge et dans des conditions de surcharge	165
8.2.5	Coordination avec les dispositifs de protection contre les courts-circuits	170
8.3	Exigences concernant la CEM	171
8.3.1	Généralités	171
8.3.2	Immunité	171
8.3.3	Emissions	173
9	Essais	173
9.1	Nature des essais	173
9.1.1	Généralités	173
9.1.2	Essais de type	173
9.1.3	Essais individuels de série	174

9.1.4	Essais d'échantillonnage	174
9.1.5	Essais spéciaux.....	174
9.2	Conformité aux exigences relatives à la construction	175
9.2.1	Généralités.....	175
9.2.2	Performance électrique des organes de serrage sans vis	175
9.2.3	Essai de vieillissement des organes de serrage sans vis	176
9.2.4	Essai de source d'énergie limitée	176
9.2.5	Défaillance des composants	176
9.2.6	Essai de flexion du câblage	177
9.3	Conformité aux exigences relatives au fonctionnement	177
9.3.1	Séquences d'essais	177
9.3.2	Conditions générales d'essai	178
9.3.3	Fonctionnement à vide, dans les conditions normales de charge et dans les conditions de surcharge	179
9.3.4	Fonctionnement en court-circuit.....	190
9.4	Essais CEM	193
9.4.1	Généralités	193
9.4.2	Essais d'immunité CEM	194
9.4.3	Essais d'émission CEM	195
9.5	Essais individuels de série et essais d'échantillonnage	197
9.5.1	Généralités	197
9.5.2	Fonctionnement et limites de fonctionnement	197
9.5.3	Essais diélectriques	198
Annexe A (normative)	Marquage et identification des bornes	199
A.1	Généralités	199
A.2	Marquage et identification des bornes des gradateurs et démarreurs à semiconducteurs.....	199
A.2.1	Marquage et identification des bornes de circuits principaux.....	199
A.2.2	Marquage et identification des bornes des circuits de commande	199
A.3	Marquage et identification des bornes des relais de surcharge	199
Annexe B (xxx)		200
Annexe C (normative)	Coordination au courant d'intersection entre le démarreur et le DPCC associé	201
C.1	Généralités et définitions	201
C.1.1	Généralités	201
C.1.2	Termes et définitions	201
C.2	Condition d'essai pour la vérification de la coordination au courant d'intersection par une méthode directe.....	201
C.3	Courants d'essai et circuits d'essai	201
C.4	Procédure d'essai et résultats à obtenir	202
C.4.1	Procédure d'essai.....	202
C.4.2	Résultats à obtenir	202
C.5	Vérification de la coordination au courant d'intersection par une méthode indirecte.....	202
C.5.1	Généralités	202
C.5.2	Essai pour I_{cd}	203
C.5.3	Caractéristique de tenue temps-courant des gradateurs/démarreurs.....	203
Annexe D (xxx)		205
Annexe E (xxx)		206

Annexe F (informative) Aptitude au fonctionnement	207
Annexe G (informative) Courants assignés d'emploi et puissances assignées d'emploi des appareils de connexion pour moteurs électriques	211
G.1 Généralités	211
G.2 Puissances assignées d'emploi et courants assignés d'emploi.....	211
Annexe H (xxx)	215
Annexe I (normative) Circuit d'essai modifié pour l'essai de court-circuit des gradateurs et démarreurs à semiconducteurs de moteurs	216
Annexe J (xxx).....	218
Annexe K (xxx)	219
Annexe L (normative) Exemples de réduction de catégorie de surtension	220
L.1 Généralités	220
L.2 Isolation par rapport à l'environnement	220
L.2.1 Circuits directement connectés au réseau.....	220
L.2.2 Isolation entre les circuits	222
Annexe M (xxx).....	225
Annexe N (normative) Exigences et essais supplémentaires pour le matériel avec séparation de protection	226
N.1 Généralités	226
N.2 Définitions.....	226
N.3 Exigences	226
N.3.1 Méthode d'essai pour la mise en œuvre d'une impédance de protection	226
N.3.2 Mesure du courant de contact.....	227
Bibliographie.....	229
Figure 1 – Appareils à semiconducteurs de commande de moteurs	127
Figure 2 – Méthodes de connexion.....	138
Figure 3 – Essai de la mémoire thermique	160
Figure 4 – Limites des multiples de la valeur du courant de réglage des relais de surcharge temporisés compensés pour la température de l'air ambiant.....	189
Figure C.1 – Exemples de caractéristique de tenue temps-courant	204
Figure F.1 – Profil d'essai de stabilité thermique.....	208
Figure F.2 – Profil d'essai d'aptitude en surcharge.....	209
Figure F.3 – Profil d'essai de capacité de blocage et d'aptitude à la commutation.....	210
Figure I.1 – Circuit modifié pour l'essai de court-circuit des appareils à semiconducteurs.....	216
Figure I.2 – Chronologie pour l'essai de court-circuit de 9.3.4.1.6	217
Figure L.1 – Evaluation de l'isolation principale pour les circuits directement connectés à la source du réseau de l'installation	220
Figure L.2 – Evaluation de l'isolation principale pour les circuits directement connectés au réseau	221
Figure L.3 – Evaluation de l'isolation principale pour les matériels non connectés en permanence au réseau	221
Figure L.4 – Evaluation de l'isolation principale pour l'isolation entre les circuits directement connectés à la source du réseau de l'installation et déclarés comme étant galvaniquement séparés	222
Figure L.5 – Evaluation de l'isolation principale pour l'isolation entre les circuits directement connectés au réseau et déclarés comme étant galvaniquement séparés.....	222

Figure L.6 – Evaluation de l'isolation principale pour l'isolation entre les circuits non directement connectés en permanence au réseau et déclarés comme étant galvaniquement séparés	223
Figure L.7 – Evaluation de l'isolation principale pour l'isolation entre les circuits directement connectés à la source du réseau de l'installation et déclarés comme étant galvaniquement séparés, lorsque des SPD internes sont utilisés	223
Figure L.8 – Evaluation de l'isolation principale pour l'isolation entre les circuits directement connectés au réseau et déclarés comme étant galvaniquement séparés, lorsque des SPD internes sont utilisés	224
Figure L.9 – Evaluation de l'isolation principale pour l'isolation entre les circuits directement connectés au réseau et déclarés comme étant galvaniquement séparés.....	224
Figure N.1 – Protection au moyen de l'impédance de protection	227
Figure N.2 – Instrument de mesure	228
Tableau 1 – Catégories d'emploi.....	143
Tableau 2 – Niveaux de sévérité relatifs	143
Tableau 3 – Classes de déclenchement des relais de surcharge.....	145
Tableau 19 – Limites pour les sources d'énergie limitée sans dispositif de protection contre les surintensités	154
Tableau 20 – Limites pour les sources d'énergie limitée avec dispositif de protection contre les surintensités	155
Tableau 21 – Limites pour une source d'énergie limitée avec impédance de limitation de courant	156
Tableau 4 – Limites de fonctionnement des relais de surcharge temporisés alimentés sur tous leurs pôles	159
Tableau 5 – Limites de fonctionnement des relais de surcharge tripolaires temporisés alimentés sur deux pôles seulement	161
Tableau 6 – Limites d'échauffement pour les bobines isolées dans l'air et dans l'huile.....	163
Tableau 7 – Durée minimale (T_X) de tenue au courant de surcharge en fonction du rapport (X) du courant de surcharge et de la classe correspondante de déclenchement du relais de surcharge (voir Tableau 3).....	166
Tableau 8 – Exigences minimales pour les conditions d'essai de stabilité thermique.....	167
Tableau 9 – Courant présumé à rotor bloqué par catégories d'emploi	167
Tableau 10 – Exigences minimales pour les conditions d'essai d'aptitude en surcharge	168
Tableau 11 – Essai de fermeture et de coupure; conditions d'établissement et de coupure selon les catégories d'emploi pour les appareils mécaniques de connexion.....	169
Tableau 12 – Essai de fonctionnement conventionnel d'établissement et de coupure en service, selon les catégories d'emploi pour les appareils mécaniques de connexion	170
Tableau 13 – Critères d'aptitude à la fonction spécifiques en présence de perturbations électromagnétiques.....	172
Tableau 14 – Spécifications d'essai pour la stabilité thermique	183
Tableau 15 – Exigences de température initiale du boîtier	183
Tableau 16 – Exigences minimales et conditions d'essai pour le fonctionnement avec une charge constituée par un moteur à induction	186
Tableau 17 – Limites de perturbation en tension sur les bornes pour les émissions radiofréquence conduites (accès de puissance relié au réseau en courant alternatif).....	196

Tableau 18 – Limites de l'essai d'émissions rayonnées.....	197
Tableau A.1 – Marquage des bornes des circuits principaux	199
Tableau C.1 – Conditions d'essai.....	203
Tableau G.1 – Puissances assignées d'emploi et courants assignés d'emploi des moteurs	212
Tableau L.1 – Légendes des schémas	220

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPAREILLAGE À BASSE TENSION –

**Partie 4-2: Contacteurs et démarreurs de moteurs –
Gradateurs, démarreurs et démarreurs progressifs à semiconducteurs de
moteurs**

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 60947-4-2 a été établie par le sous-comité 121A: Appareillage à basse tension, du comité d'études 121 de l'IEC: Appareillages et ensembles d'appareillages basse tension.

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition parue en 2011. Cette édition constitue une révision technique.

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

- exclusions du domaine d'application;
- correction rédactionnelle des notes et des alinéas en suspens;

- référence à l'IEC 62683-1;
- aspects de sécurité relatifs aux points suivants:
 - aspects généraux;
 - circuits à énergie limitée;
 - circuits électroniques;
- mention des accessoires de câblage dédiés;
- mesure de la puissance consommée;
- alignement sur l'IEC 60947-1:2020.

Les dispositions des règles générales couvertes par l'IEC 60947-1 s'appliquent à la présente partie de la série IEC 60947, lorsque cela est spécifiquement mentionné. Les articles et les paragraphes, tableaux, figures et annexes des règles générales alors applicables sont identifiés en faisant référence à l'IEC 60947-1:2020.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
121A/353/FDIS	121A/360/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.

La version française de la norme n'a pas été soumise au vote.

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.

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

Le présent document concerne les gradateurs, les démarreurs et les démarreurs progressifs basse tension à semiconducteurs de moteurs qui ont de nombreuses possibilités et des caractéristiques au-delà de la simple manœuvre de démarrage et d'arrêt d'un moteur à induction, telles que la commande du démarrage et de l'arrêt, le fonctionnement par impulsions et la commande du fonctionnement à vitesse normale.

Le terme générique "gradateur" est utilisé dans le présent document chaque fois qu'il est fait référence à des éléments d'appareils de commutation de puissance à semiconducteurs.

Le terme générique "démarreur" est utilisé dans le présent document chaque fois qu'il est fait référence aux éléments d'appareils de commutation de puissance à semiconducteurs associés à des dispositifs adaptés de protection contre les surcharges.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

APPAREILLAGE À BASSE TENSION –

Partie 4-2: Contacteurs et démarreurs de moteurs – Gradateurs, démarreurs et démarreurs progressifs à semiconducteurs de moteurs

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60947 s'applique aux gradateurs, démarreurs et démarreurs progressifs à semiconducteurs de moteurs qui peuvent comprendre un appareil mécanique de connexion en série, destiné à être relié à des circuits dont la tension assignée ne dépasse pas 1 000 V en courant alternatif.

Le présent document définit les caractéristiques des gradateurs et démarreurs à semiconducteurs de moteurs avec ou sans dispositif de court-circuitage.

Le présent document ne s'applique pas:

- aux gradateurs et démarreurs à semiconducteurs de moteurs utilisés pour un fonctionnement continu des moteurs à courant alternatif, à des vitesses de moteur autres que leur vitesse normale¹;
- aux contacteurs électromécaniques et aux relais de surcharge externes (voir l'IEC 60947-4-1);
- au dispositif de protection contre les courts-circuits associé aux gradateurs et démarreurs à semiconducteurs de moteurs (voir l'IEC 60947-4-1 (MPSD), l'IEC 60947-2 et l'IEC 60947-3);
- aux matériels à semiconducteurs, comprenant les contacteurs à semiconducteurs (voir 3.4.13 de l'IEC 60947-1:2020) commandant des charges autres que des moteurs (voir l'IEC 60947-4-3);
- aux gradateurs et démarreurs à semiconducteurs de moteurs utilisés pour les circuits rotoriques¹;
- aux entraînements électriques de puissance à vitesse variable (voir la série IEC 61800);
- à une utilisation du produit dans des atmosphères explosives (voir la série IEC 60079);
- aux exigences relatives aux logiciels et micrologiciels¹;

NOTE 1 Des recommandations relatives au logiciel embarqué sont données dans l'IEC TR 63201.

- aux aspects liés à la cybersécurité (voir l'IEC TS 63208).

Les contacteurs, les relais de surcharge et les dispositifs de circuits de commande utilisés dans les gradateurs et démarreurs à semiconducteurs de moteurs sont considérés conformes aux exigences de leur norme de produit applicable. Lors de l'emploi d'appareils mécaniques de connexion, ceux-ci sont considérés comme satisfaisant aux exigences de leur propre norme de produit IEC et aux exigences supplémentaires du présent document.

L'objet du présent document est de fixer:

- les caractéristiques des gradateurs, démarreurs et démarreurs progressifs à semiconducteurs de moteurs et du matériel associé;

¹ A cet égard, il appartient au fabricant de prendre des mesures de sécurité supplémentaires.

- les conditions que remplissent les gradateurs, démarreurs et démarreurs progressifs à semiconducteurs de moteurs pour:
 - a) leur fonctionnement et leur comportement dans des conditions normales et anormales de fonctionnement, y compris des conditions de fonctionnement en surintensité;
 - b) leurs propriétés diélectriques;
 - c) les degrés de protection procurés par leurs enveloppes, le cas échéant;
 - d) leur construction, en incluant les mesures de sécurité contre les chocs électriques, les risques au feu et les risques mécaniques;
- essais destinés à confirmer que ces conditions ont été remplies, et les méthodes à adopter pour ces essais;
- informations à donner sur le matériel ou dans les notices techniques du fabricant.

NOTE 2 Pour les besoins du présent document, le terme "gradateur" est utilisé à la place de "gradateur à semiconducteurs de moteurs".

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60034-1:2017, *Machines électriques tournantes - Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*

IEC 60445, *Principes fondamentaux et de sécurité pour les interfaces homme-machine, le marquage et l'identification – Identification des bornes de matériels, des extrémités de conducteurs et des conducteurs*

IEC 60715, *Dimensions de l'appareillage à basse tension – Montage normalisé sur profilés - Supports pour le support mécanique des appareillages et de leurs accessoires*

IEC 60730-1, *Dispositifs de commande électrique automatiques - Partie 1: Exigences générales*

IEC 60947-1:2020, *Appareillage à basse tension - Partie 1: Règles générales*

IEC 61000-3-2, *Compatibilité électromagnétique (CEM) - Partie 3-2: Limites - Limites pour les émissions de courant harmonique (courant appelé par les appareils inférieur ou égal à 16 A par phase)*

IEC 61000-3-3, *Compatibilité électromagnétique (CEM) - Partie 3-3: Limites - Limitation des variations de tension, des fluctuations de tension et du papillotement dans les réseaux publics d'alimentation basse tension, pour les matériels ayant un courant assigné inférieur ou égal 16 A par phase et non soumis à un raccordement conditionnel*

IEC 61000-3-11, *Compatibilité électromagnétique (CEM) - Partie 3-11: Limites - Limitation des variations de tension, des fluctuations de tension et du papillotement dans les réseaux publics d'alimentation basse tension - Équipements ayant un courant appelé inférieur ou égal à 75 A et soumis à un raccordement conditionnel*

IEC 61000-3-12, *Compatibilité électromagnétique (CEM) - Partie 3-12: Limites - Limites pour les courants harmoniques produits par les appareils connectés aux réseaux publics basse tension ayant un courant appelé >16 A et ≤75 A par phase*

IEC 61140:2016, *Protection contre les chocs électriques - Aspects communs aux installations et aux matériels*

CISPR 11:2015, *Appareils industriels, scientifiques et médicaux – Caractéristiques de perturbations radioélectriques – Limites et méthodes de mesure*
CISPR 11:2015/AMD1:2016

ISO 2859-1:1999, *Règles d'échantillonnage pour les contrôles par attributs – Partie 1: Procédures d'échantillonnage pour les contrôles lot par lot, indexés d'après le niveau de qualité acceptable (NQA)*

3 Termes, définitions, symboles et termes abrégés

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 60947-1:2020 ainsi que les termes, définitions, symboles et abréviations suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

3.1.1 Termes et définitions concernant les types de gradateurs et démarreurs à semiconducteurs de moteurs

3.1.1.1

appareil de connexion à semiconducteurs

appareil de connexion conçu pour établir et/ou interrompre le courant dans un circuit électrique au moyen de la commande de la conductivité d'un semiconducteur

Note 1 à l'article: Cette définition diffère de celle de l'IEC 60050-441:1984, 441-14-03, car un appareil de connexion à semiconducteurs est également conçu pour interrompre le courant.

[SOURCE: IEC 60947-1:2020, 3.4.3, modifiée – La Note 1 à l'article a été ajoutée.]

3.1.1.2

gradateur à semiconducteurs

appareil de connexion à semiconducteurs qui assure une fonction de connexion pour une charge électrique en courant alternatif et fournit un état non passant

Note 1 à l'article: Etant donné que des niveaux dangereux de courant à l'état non passant (3.1.2.12) existent dans un gradateur à semiconducteurs, il convient que les bornes de charge soient en permanence considérées comme étant 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 revient à couper le courant.

Note 3 à l'article: Voir 3.4.3 de l'IEC 60947-1:2020 pour connaître la définition de l'appareil de connexion à semiconducteurs.

Note 4 à l'article: Cet appareil peut comprendre un ou plusieurs appareils de connexion électromécaniques internes en dérivation ou en série avec le semiconducteur, à la discrétion du fabricant.

3.1.1.3

gradateur à semiconducteurs de moteurs

gradateur à semiconducteurs qui assure la fonction de démarrage pour un moteur à courant alternatif et fournit un état non passant

Note 1 à l'article: Cet appareil peut comprendre toute méthode de démarrage spécifiée par le fabricant, des fonctions de commande pouvant inclure toute combinaison de fonctionnement par impulsion, d'accélération contrôlée, de marche à vitesse normale ou de décélération contrôlée d'un moteur à courant alternatif. Une pleine conduction peut également être fournie.

Note 2 à l'article: Voir Figure 1.

3.1.1.4

gradateur à semiconducteurs de moteurs pour démarrage direct

gradateur à semiconducteurs de moteurs DOL

gradateur à semiconducteurs de moteurs, dont la fonction de démarrage est limitée à une méthode de démarrage appliquant la pleine tension sans rampe, et où la fonction supplémentaire de commande est limitée à la pleine conduction

Note 1 à l'article: Cet appareil peut inclure un temps de rampe contrôlé très court, de l'ordre de quelques cycles, qui contribue à limiter le courant d'appel du moteur au niveau donné dans le Tableau 9.

Note 2 à l'article: Voir Figure 1.

3.1.1.5

démarreur à semiconducteurs de moteurs

démarreur progressif

gradateur à semiconducteurs de moteurs doté d'un dispositif approprié de protection contre les surcharges, dont les caractéristiques sont assignées comme pour un appareil

Note 1 à l'article: Le terme "démarreur progressif" est souvent utilisé sur le marché pour désigner un gradateur à semiconducteurs de moteurs avec ou sans protection contre les surcharges, mais dans le présent document, il s'agit d'un type de démarreur comprenant par définition une protection contre les surcharges.

3.1.1.6

démarreur à semiconducteurs de moteurs pour démarrage direct

démarreur à semiconducteurs de moteurs DOL

gradateur à semiconducteurs de moteurs pour démarrage direct doté d'un dispositif approprié de protection contre les surcharges, dont les caractéristiques sont assignées comme pour un appareil

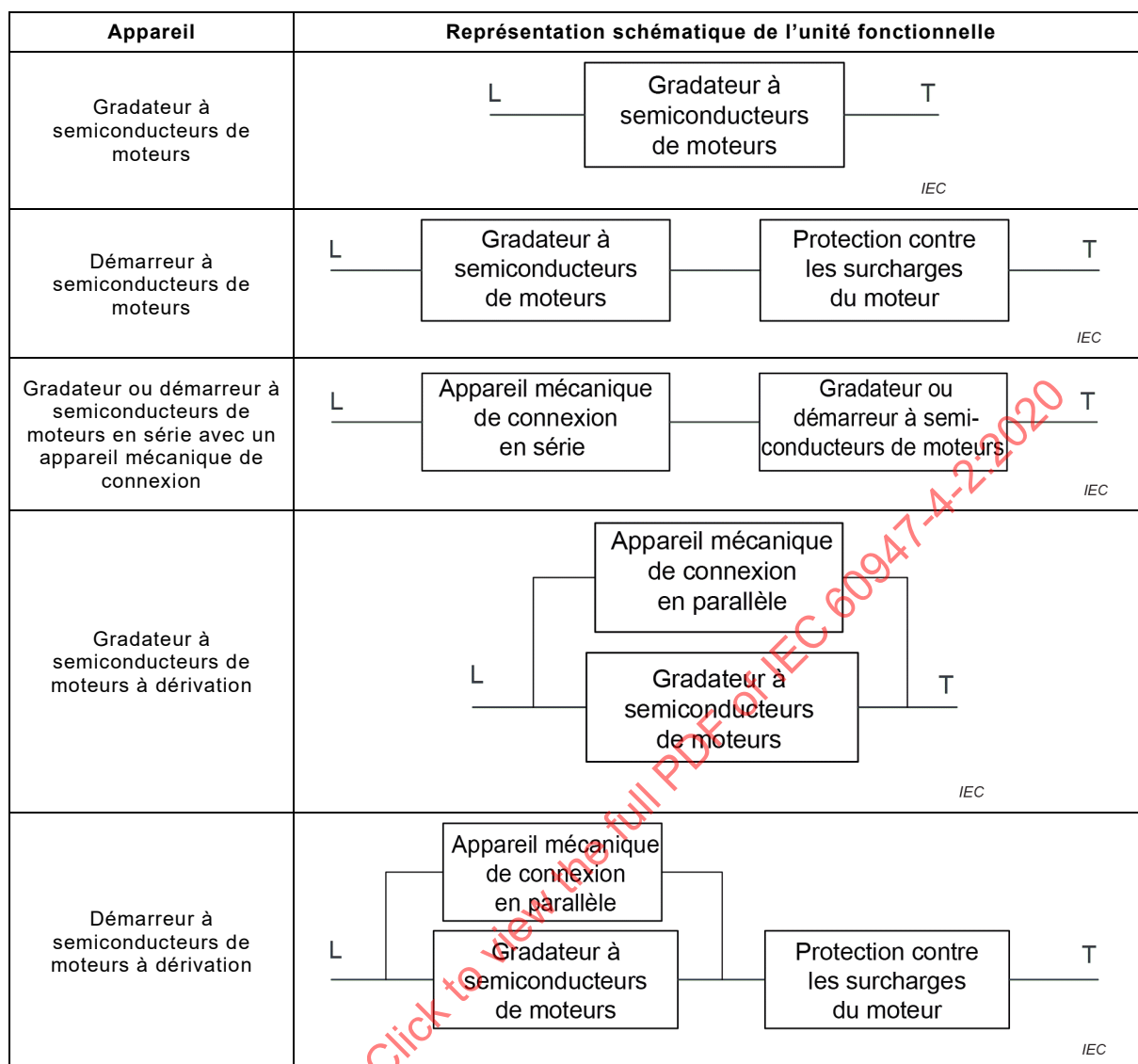


Figure 1 – Appareils à semiconducteurs de commande de moteurs

3.1.2 Termes et définitions concernant les gradateurs et démarreurs à semiconducteurs de moteurs

3.1.2.1 fonction de limitation de courant

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

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

3.1.2.2 manœuvre par impulsions

tout fonctionnement intentionnel provoquant des variations de courants qui doivent être définies et contrôlées (exemple marche par à-coups, freinage)

Note 1 à l'article: Le démarrage est une fonction nécessaire qui est traitée séparément.

Note 2 à l'article: Les manœuvres de freinage effectuées par un gradateur ou un démarreur à semiconducteurs de moteurs sont considérées comme une manœuvre par impulsions dans le domaine d'application du présent document.

3.1.2.3

accélération contrôlée

contrôle du fonctionnement d'un moteur pendant l'augmentation de la vitesse du moteur en agissant sur l'alimentation du moteur

3.1.2.4

décélération contrôlée

contrôle du fonctionnement du moteur pendant la réduction de la vitesse du moteur en agissant sur l'alimentation du moteur

3.1.2.5

fonctionnement contrôlé

contrôle du fonctionnement du moteur en agissant sur l'alimentation, pendant que le moteur tourne à vitesse normale (par exemple économie d'énergie)

3.1.2.6

courant présumé

<d'un circuit et relatif à un appareil de connexion ou à un fusible> courant qui circulerait dans le circuit si chaque pôle de l'appareil de connexion ou le fusible était remplacé par un conducteur d'impédance négligeable

Note 1 à l'article: La méthode à employer pour évaluer et pour exprimer le courant présumé doit être spécifiée dans la norme de produit correspondante.

[SOURCE: IEC 60947-1:2020, 3.7.5]

3.1.2.7

courant présumé à rotor bloqué

I_{LRP}

courant présumé lorsque le moteur est alimenté sous sa tension assignée avec le rotor bloqué

Note 1 à l'article: Le courant d'essai de I_{LRP} pour l'aptitude en surcharge est donné dans le Tableau 9.

3.1.2.8

état passant

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

3.1.2.9

pleine conduction

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

3.1.2.10

courant minimal de charge

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

Note 1 à l'article: Le courant minimal de charge est indiqué comme la valeur efficace.

3.1.2.11

état non passant

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

3.1.2.12

courant à l'état non passant

courant que laisse passer le circuit principal d'un gradateur à l'état non passant

3.1.2.13**manœuvre**

<gradateur> passage de l'état passant à l'état non passant, ou l'inverse

3.1.2.14**cycle de manœuvres**

<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".

3.1.2.15**aptitude au fonctionnement**

aptitude à effectuer une suite de cycles de manœuvres sans défaillance, dans des conditions prescrites

3.1.2.16**profil de courant de surcharge**

coordonnées temps/courant précisant les valeurs des courants de surcharge pendant une certaine durée

Note 1 à l'article: Voir 5.3.5.2.

3.1.2.17**index caractéristique**

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

Note 1 à l'article: Voir 6.1 e).

3.1.2.18**manœuvre de déclenchement**

<d'un gradateur ou démarreur de moteurs> manœuvre pour établir et maintenir l'état non passant (ou la position d'ouverture dans le cas d'un appareil mécanique de connexion en série), déclenché par un signal de commande

3.1.2.19**relais ou déclencheur de surcharge sensible à une perte de phase**

relais ou déclencheur de surcharge multipolaire qui fonctionne dans le cas d'une surcharge, et également dans le cas d'une perte de phase, conformément à des exigences spécifiées

3.1.2.20**relais ou déclencheur à minimum de courant**

relais de mesure ou déclencheur qui fonctionne automatiquement lorsque le courant qui le traverse devient inférieur à une valeur prédéterminée

3.1.2.21**relais ou déclencheur à minimum de tension**

relais de mesure ou déclencheur qui fonctionne automatiquement lorsque la tension qui lui est appliquée devient inférieure à une valeur prédéterminée

3.1.2.22

relais électronique de surcharge sensible au calage

relais électronique de surcharge qui fonctionne lorsque le courant n'a pas diminué en dessous d'une valeur prédéterminée pendant une période de temps spécifique durant le démarrage, ou lorsque le relais reçoit une information lui indiquant qu'il n'y a pas rotation du moteur après un temps prédéterminé, conformément aux exigences spécifiées

Note 1 à l'article: Explication de calage: rotor bloqué pendant le démarrage.

3.1.2.23

relais électronique de surcharge sensible au blocage

relais électronique de surcharge qui fonctionne dans le cas d'une surcharge, et aussi lorsque le courant a augmenté au-dessus d'une valeur prédéterminée pendant une période de temps spécifique durant le fonctionnement, conformément aux exigences spécifiées

Note 1 à l'article: Explication de blocage: surcharge élevée survenant après achèvement du démarrage qui provoque une augmentation du courant atteignant la valeur correspondant au rotor bloqué du moteur commandé.

3.1.2.24

temps d'inhibition

temporisation pendant laquelle la fonction de déclenchement du relais est inhibée (peut être réglable)

3.1.2.25

durée à l'état passant

période de temps au cours de laquelle le gradateur est en charge

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

3.1.2.26

durée à l'état non passant

période de temps au cours de laquelle le gradateur est hors charge

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

3.1.2.27

gradateur à semiconducteurs de moteurs à dérivation

démarrateur à semiconducteurs de moteurs 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 organes de manœuvre des deux appareils de connexion sont coordonnés, soumis à essai et dont les caractéristiques sont assignées comme pour un appareil

Note 1 à l'article: Voir les lignes 4 et 5 de la Figure 1.

3.1.2.28

manœuvre CO

coupure du circuit par le dispositif de protection contre les courts-circuits (DPCC) résultant de la fermeture du circuit par le matériel soumis à essai

3.1.2.29

manœuvre O

coupure du circuit par le dispositif de protection contre les courts-circuits (DPCC) résultant de la fermeture du circuit par le matériel soumis à essai qui est dans la position fermée

3.1.2.30

puissance dissipée du gradateur à semiconducteurs de moteurs

puissance consommée par un gradateur ou un démarreur à semiconducteurs de moteurs en pleine conduction au niveau de puissance maximal

3.1.2.31**séparation galvanique**

action ou moyen d'empêcher la conduction électrique entre deux circuits électriques prévus pour échanger de la puissance ou des signaux

Note 1 à l'article: Une séparation électrique peut être obtenue, par exemple, au moyen d'un transformateur de séparation (de circuits) ou d'un optocoupleur.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001-07, 151-12-26]

3.1.3 Termes et définitions concernant les aspects de sécurité**3.1.3.1****condition anormale de fonctionnement**

condition de fonctionnement qui n'est ni une condition normale de fonctionnement ni une condition de premier défaut du matériel proprement dit

Note 1 à l'article: Une condition anormale de fonctionnement est une condition temporaire pouvant être introduite par le matériel ou par une personne et pouvant engendrer la défaillance d'un composant, d'un appareil ou d'une protection.

Note 2 à l'article: Cette définition est utilisée dans le contexte d'une analyse du risque de défaillance d'un élément.

3.1.3.2**partie accessible**

partie pouvant être touchée au moyen du doigt d'épreuve normalisé

[SOURCE: IEC 60050-442:1998-11, 442-01-15, modifiée – Suppression de l'article "a" au début de la définition (cette modification ne concerne que la version anglaise).]

3.1.3.3**partie active dangereuse**

partie active qui peut provoquer, dans certaines conditions, un choc électrique nuisible

[SOURCE: IEC 60050-195:1998-08, 195-06-05]

3.1.3.4**source d'énergie limitée**

source conçue et protégée afin que, dans des conditions normales de fonctionnement ou dans des conditions de premier défaut, le courant fourni n'entraîne pas de risques au feu

3.1.3.5**impédance de protection**

impédance connectée entre des parties actives dangereuses et des parties conductrices accessibles, de valeur telle que le courant, en utilisation normale et dans des conditions possibles de panne, soit limité à une valeur de sécurité, et qui est construite de façon telle que son aptitude soit maintenue au cours de la durée de vie du matériel

[SOURCE: IEC 62477-1:2012, 3.42]

3.1.3.6**mauvais usage raisonnablement prévisible**

utilisation d'un produit ou d'un système dans des conditions ou à des fins non prévues par le fournisseur mais qui peut provenir d'un comportement humain envisageable

[SOURCE: Guide ISO/IEC 51:2014, 3.7, modifié – Suppression des notes à l'article]

3.1.3.7

condition de premier défaut

condition dans laquelle il existe un défaut d'une protection simple (mais pas d'une protection renforcée) d'un composant ou d'un dispositif unique

Note 1 à l'article: Si une condition de premier défaut engendre une ou plusieurs autres conditions de défaut, toutes sont considérées comme une seule condition de premier défaut.

Note 2 à l'article: La protection renforcée est définie dans l'IEC 60050-903:2013, 903-02-08.

[SOURCE: Guide IEC 104:2019-07, 3.8]

3.1.4 Index alphabétique des termes

	Référence
A	
accélération contrôlée	3.1.2.3
appareil de connexion à semiconducteurs	3.1.1.1
C	
condition anormale de fonctionnement	3.1.3.1
condition de premier défaut	3.1.3.7
courant à l'état non passant	3.1.2.12
courant minimal de charge	3.1.2.10
courant présumé	3.1.2.6
courant présumé à rotor bloqué	3.1.2.7
cycle de manœuvres	3.1.2.14
D	
décélération contrôlée	3.1.2.4
démarrateur à semiconducteurs de moteurs	3.1.1.5
démarrateur à semiconducteurs de moteurs à dérivation	3.1.2.27
démarrateur à semiconducteurs de moteurs DOL	3.1.1.6
démarrateur à semiconducteurs de moteurs pour démarrage direct	3.1.1.6
démarrateur progressif	3.1.1.5
durée à l'état non passant	3.1.2.26
durée à l'état passant	3.1.2.25
E	
état non passant	3.1.2.11
état passant	3.1.2.8
F	
fonction de limitation de courant	3.1.2.1
fonctionnement contrôlé	3.1.2.5
G	
gradateur à semiconducteurs	3.1.1.2
gradateur à semiconducteurs de moteurs	3.1.1.3
gradateur à semiconducteurs de moteurs à dérivation	3.1.2.27
gradateur à semiconducteurs de moteurs DOL	3.1.1.4
gradateur à semiconducteurs de moteurs pour démarrage direct	3.1.1.4
I	
impédance de protection	3.1.3.5
index caractéristique	3.1.2.17
M	
manœuvre	3.1.2.13

manœuvre CO	3.1.2.28
manœuvre de déclenchement	3.1.2.18
manœuvre O	3.1.2.29
manœuvre par impulsions	3.1.2.2
mauvais usage raisonnablement prévisible	3.1.3.6

P

partie accessible	3.1.3.2
partie active dangereuse	3.1.3.3
pleine conduction	3.1.2.9
profil de courant de surcharge	3.1.2.16
puissance dissipée du gradateur à semiconducteurs de moteurs	3.1.2.30

R

relais électronique de surcharge sensible au blocage	3.1.2.23
relais électronique de surcharge sensible au calage	3.1.2.22
relais ou déclencheur à minimum de courant	3.1.2.20
relais ou déclencheur à minimum de tension	3.1.2.21
relais ou déclencheur de surcharge sensible à une perte de phase	3.1.2.19

S

séparation galvanique	3.1.2.31
source d'énergie limitée	3.1.3.4

T

temps d'inhibition	3.1.2.24
--------------------------	----------

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

3.2 Symboles et termes abrégés

Symbole/terme abrégé	Description	Définition ou apparition
A_f	Température ambiante finale	9.3.3.3.4
C_f	Température finale du boîtier	9.3.3.3.4
I_c	Courant établi et coupé	Tableau 11
I_e	Courant assigné d'emploi	5.3.2.3
I_F	Courant à l'état non passant après l'essai de capacité de blocage et d'aptitude à la commutation	9.3.3.6.4
I_{init}	Courant d'essai initial	9.3.3.6.3
I_{LRP}	Courant présumé à rotor bloqué	3.1.2.7
I_O	Courant à l'état non passant avant l'essai de capacité de blocage et d'aptitude à la commutation	9.3.3.6.4
I_{Lm}	Courant à l'état non passant maximal	5.3.2.5
I_q	Courant d'essai de court-circuit conditionnel maximal	9.3.4.3.2
I_{lim}	Courant de réglage de la fonction de limitation de courant	8.2.4.1
I_{th}	Courant thermique conventionnel à l'air libre	5.3.2
I_{the}	Courant thermique conventionnel sous enveloppe	5.3.2.2
I_u	Courant permanent assigné	5.3.2.4
DPCC	Dispositif de protection contre les courts-circuits	5.8
U_c	Tension assignée du circuit de commande	6.1
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 10
U_s	Tension assignée d'alimentation du circuit de commande	6.1

4 Classification

Le paragraphe 5.2 donne toutes les données qui peuvent servir de critères de classification.

5 Caractéristiques des gradateurs et démarreurs à semiconducteurs de moteurs

5.1 Énumération des caractéristiques

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

- type de matériel (5.2),
- valeurs assignées et valeurs limites des circuits principaux (5.3),
- catégorie d'emploi (5.4),
- circuits de commande (5.5),
- circuits auxiliaires (5.6),
- caractéristiques des relais et des déclencheurs (5.7),
- coordination avec les dispositifs de protection contre les courts-circuits (5.8).

Pour les échanges d'informations au format électronique, un catalogue électronique par exemple, l'IEC 62683-DB indique le format de données des caractéristiques essentielles des démarreurs de moteurs, des contacteurs et de leurs accessoires.

5.2 Type de matériel

5.2.1 Nature du matériel

Le type des gradateurs et des démarreurs à semiconducteurs doit être indiqué dans les termes suivants:

- a) Type de gradateur à semiconducteurs de moteurs
 - gradateur à semiconducteurs de moteurs; ou
 - démarreur à semiconducteurs de moteurs: doté d'un dispositif approprié de protection contre les surcharges, dont les caractéristiques sont assignées comme pour un appareil
- b) Gradateur ou démarreur à semiconducteurs de moteurs à dérivation, le cas échéant
- c) Type de contrôle (non limité)
 - pleine conduction;
 - accélération contrôlée;
 - décélération contrôlée;
 - fonction de limitation de courant.

5.2.2 Nombre de pôles

- Nombre de pôles principaux;
- nombre de pôles principaux commandés par un élément de connexion à semiconducteurs.

5.2.3 Nature du courant

Alternatif seulement.

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

Applicable seulement aux appareils mécaniques de connexion utilisés par les gradateurs et les démarreurs.

5.2.5 Conditions de fonctionnement du matériel

5.2.5.1 Méthode de fonctionnement

Par exemple:

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

5.2.5.2 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 en partie automatique, en partie non automatique).

5.2.5.3 Méthode de connexion

Par exemple (voir Figure 2):

- moteur connecté en triangle, thyristors en série avec un bobinage;
- moteur connecté en étoile, thyristors connectés en triangle;
- moteur connecté en triangle, thyristors connectés entre le bobinage et l'alimentation.

5.3 Valeurs assignées et valeurs limites des circuits principaux

5.3.1 Tensions assignées

5.3.1.1 Tension assignée d'emploi (U_e)

Le paragraphe 5.3.1.1 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec l'ajout suivant.

Les valeurs assignées des matériels pour courant alternatif doivent inclure le nombre de phases, à l'exception du cas des matériels destinés de manière évidente uniquement à une utilisation monophasée, pour lesquels il n'est pas exigé d'inclure le nombre de phases.

5.3.1.2 Tension assignée d'isolement (U_i)

Le paragraphe 5.3.1.2 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

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

Le paragraphe 5.3.1.3 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

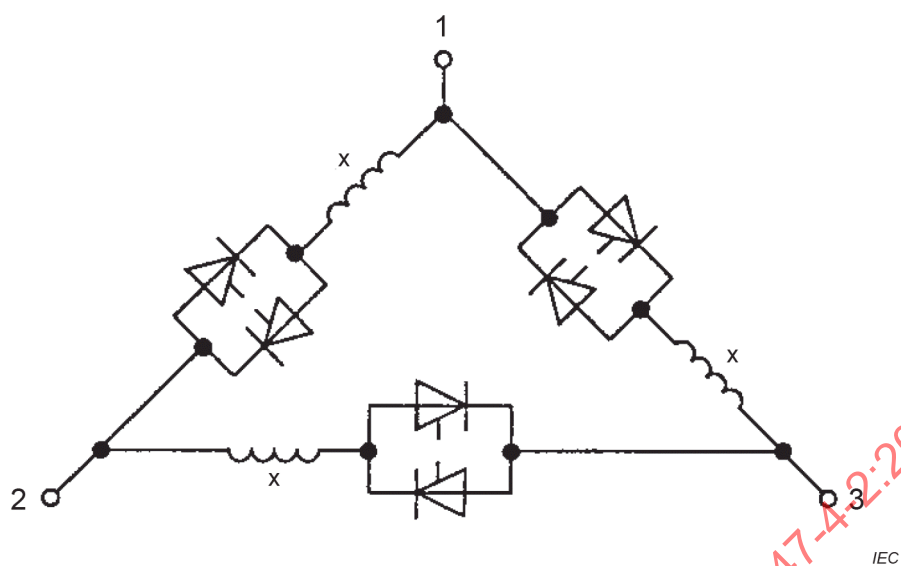


Figure 2a – Moteur en triangle – Thyristors en série avec un bobinage

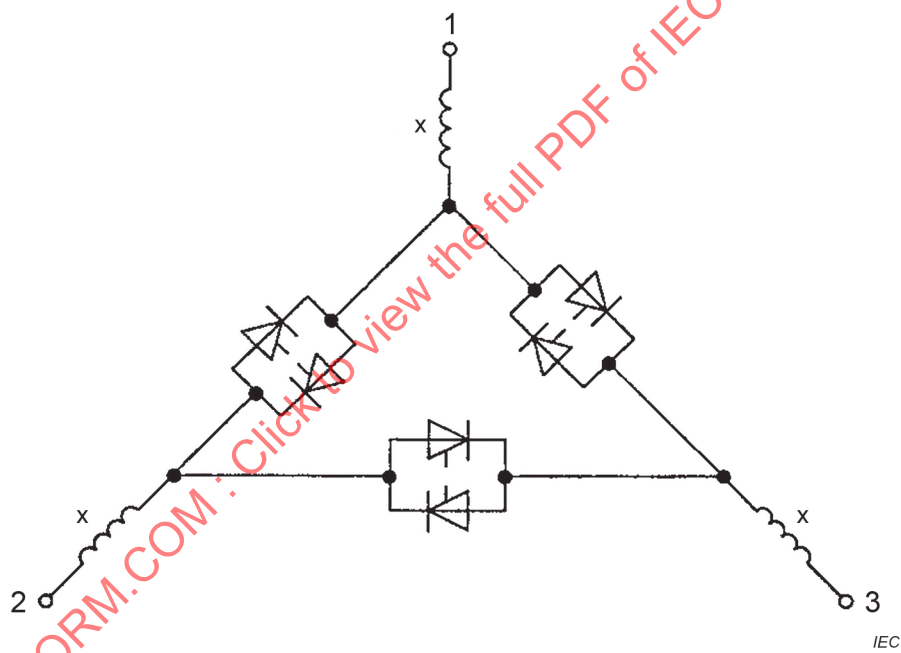
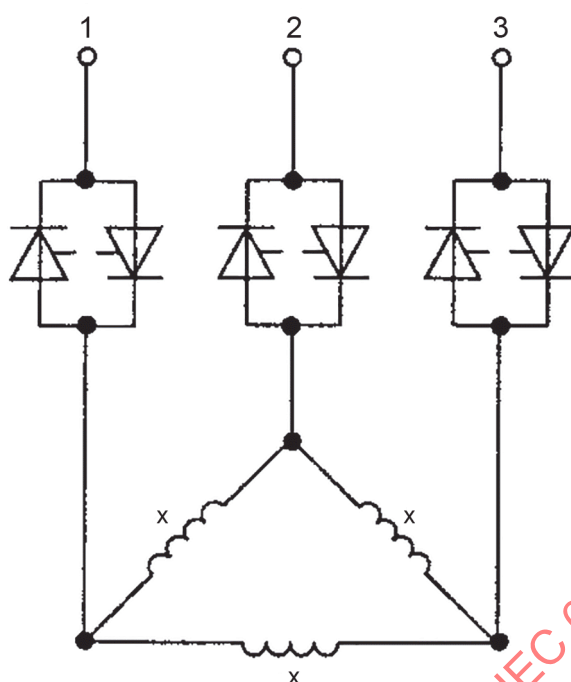


Figure 2b – Moteur en étoile – Thyristors en triangle



IEC

Figure 2c – Moteur en triangle – Thyristors connectés entre le bobinage et l'alimentation

Figure 2 – Méthodes de connexion

5.3.2 Courants

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

Le paragraphe 5.3.2.1 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

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

Le paragraphe 5.3.2.2 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

5.3.2.3 Courant assigné d'emploi (I_e)

Le courant assigné d'emploi I_e des gradateurs et des démarreurs est le courant admissible normal 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), des valeurs et séquences du cycle de service (voir 5.3.4), de la catégorie d'emploi (voir 5.4), des caractéristiques de charge normale et de surcharge (voir 5.3.5) et du type d'enveloppe de protection, s'il y a lieu.

L'indication d'un courant assigné d'emploi peut être remplacée ou complétée par celle de la puissance maximale disponible assignée, sous la tension assignée d'emploi considérée, du moteur auquel le matériel est destiné.

NOTE L'Annexe G indique des valeurs concernant la relation entre des courants assignés d'emploi et des puissances assignées d'emploi.

5.3.2.4 Courant permanent assigné (I_u)

Le paragraphe 5.3.2.4 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

5.3.2.5 Courant à l'état non passant maximal (I_{Lm})

Le courant à l'état non passant maximal (I_{Lm}) est le courant maximal circulant dans le circuit principal du gradateur à l'état non passant, dans les conditions d'essai de 9.3.3.6.3.

5.3.3 Fréquence assignée

Le paragraphe 5.3.3 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

5.3.4 Valeurs et séquences du cycle de service

5.3.4.1 Valeurs et symboles du cycle de service

Pour les besoins du présent document, le cycle de service est exprimé par deux symboles, F et S . Ceux-ci décrivent le service et fixent aussi le délai de refroidissement qui doit être prévu.

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

Les valeurs privilégiées de F sont les suivantes:

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

S est le nombre de cycles de manœuvres par heure. Les valeurs privilégiées de S sont les suivantes:

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

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

5.3.4.2 Séquences du cycle de service

Deux séquences de cycle de service sont définies en relation avec le suffixe de la désignation d'une catégorie d'emploi comme suit:

- a) séquence A: cycles de service complets, où le gradateur ou démarreur à semiconducteurs de moteurs transporte le courant moteur durant toutes les phases de "démarrage", "marche" et "arrêt" de la charge du moteur. Cela inclut la capacité de transporter continuellement le courant assigné jusqu'à l'équilibre thermique et après;
- b) séquence B: cycles de service de démarrage et d'arrêt, où le gradateur ou démarreur à semiconducteurs de moteurs transporte le courant moteur seulement durant les phases de "démarrage" et/ou "d'arrêt" de la charge du moteur.

5.3.5 Caractéristiques en conditions normales de charge et en conditions de surcharge

5.3.5.1 Généralités

Le paragraphe 5.3.5 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec les ajouts suivants.

5.3.5.2 Profil de courant de surcharge

Le profil de 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 7, et représente la valeur maximale du courant admissible dû au démarrage, au fonctionnement ou au fonctionnement par impulsions dans des conditions de surcharge. $X = I_T/I_e$ comme soumis à essai conformément au Tableau 10 lorsqu'aucune fonction de limitation de courant n'est fournie.

Des surintensités voulues ne dépassant pas 10 cycles (par exemple décollage, dégomme, etc.) 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 contrôlés au cours du démarrage, du fonctionnement normal et du fonctionnement par impulsions. Voir Tableau 7.

Pour un démarreur, T_x est la durée de fonctionnement minimale autorisée par les tolérances du relais de surcharge.

5.3.5.3 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 non passant (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);
- les valeurs et séquences du cycle de service (voir 5.3.4);
- le profil de courant de surcharge (voir 5.3.5.2);
- la catégorie d'emploi (voir 5.4);
- la disponibilité d'une fonction de limitation de courant;
- la disponibilité d'une fonction de limitation de courant d'appel de moteur.

Les exigences sont données en 8.2.4.1.

5.3.5.4 Caractéristiques de démarrage, d'arrêt et de fonctionnement par impulsions

5.3.5.4.1 Caractéristiques de démarrage des moteurs à cage d'écureuil et des moteurs de compresseurs hermétiques de réfrigération

- a) Un seul sens de rotation avec aptitude au contrôle de phase permettant de commander l'accélération jusqu'à la vitesse normale, la décélération jusqu'à l'arrêt ou le fonctionnement transitoire occasionnel sans mise hors tension du gradateur (AC-3a, AC-8a).
- b) Un seul sens de rotation avec aptitude au contrôle de phase permettant de commander l'accélération jusqu'à la vitesse normale. Les gradateurs et les démarreurs ont des caractéristiques assignées pour les cycles de service de démarrage et d'arrêt seulement (AC-3b, AC-8b); par exemple, après le démarrage, le moteur peut être relié à un circuit qui court-circuite le gradateur ou le démarreur à semiconducteurs de moteurs.

Deux sens de rotation peuvent être obtenus en inversant les connexions au gradateur ou au moteur par des moyens ne relevant pas du domaine d'application du présent document, mais qui relèvent de leur propre norme de produit.

Deux sens de rotation peuvent également être obtenus par inversion de phase dans le gradateur ou le démarreur. Les exigences pour cette manœuvre varient en fonction de chaque application. C'est pourquoi la méthode utilisée fera l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

En raison des possibilités de commande des gradateurs et des démarreurs, le courant durant des manœuvres de démarrage, d'arrêt et de fonctionnement peut être différent des valeurs conventionnelles du courant présumé à rotor bloqué énumérées dans le Tableau 9.

5.3.5.4.2 Caractéristiques de démarrage des démarreurs rotoriques à résistances munis de gradateurs pour alimenter le stator (AC-2a, AC-2b)

Les démarreurs à semiconducteurs peuvent être utilisés pour alimenter sous tension réduite les enroulements statoriques d'un moteur à bagues, et de ce fait réduire le nombre d'étapes de commutation exigées dans le circuit du rotor. Une ou deux étapes de démarrage conviennent à la plupart des applications suivant le couple de la charge, l'inertie et la sévérité exigée pour le démarrage.

5.3.6 Courant conditionnel de court-circuit assigné

Le paragraphe 5.3.6.4 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

5.3.7 Puissance dissipée du gradateur à semiconducteurs de moteurs

5.3.7.1 Généralités

La puissance consommée du gradateur ou démarreur à semiconducteurs de moteurs peut être établie par le fabricant et elle est déterminée en calculant la puissance dissipée des composants à semiconducteurs de puissance.

Un gradateur de moteurs est constitué de deux ou trois semiconducteurs de puissance avec des phases contrôlées et un appareil de commande à semiconducteurs. Ces semiconducteurs de puissance sont dérivés ou non après le démarrage du moteur.

La puissance dissipée des semiconducteurs de puissance au cours du démarrage (et de l'arrêt progressif ou du mode de freinage) survient pendant un très court laps de temps (quelques secondes) et elle n'est donc pas prise en compte.

5.3.7.2 Pertes de semiconducteurs de puissance (circuit principal)

Pour un fonctionnement continu, les pertes de semiconducteurs de puissance peuvent être calculées comme suit:

a) Formule pour un fonctionnement sans dérivation

$$P_{vnb} = n \cdot I_e \cdot 1V$$

avec:

n nombre de phases commandées,

I_e courant assigné d'emploi,

P_{vnb} puissance dissipée lors d'un fonctionnement sans dérivation,

1 V un volt en tant que chute de tension type d'un semiconducteur de puissance.

NOTE 1 Le facteur type de 1 V peut être modifié par le fabricant le cas échéant.

b) Formule pour un fonctionnement en dérivation

$$P_{vb} = n \cdot 0,1 \cdot I_e \cdot 1V = 0,1 \cdot P_{vnb}$$

avec (en plus de la légende de la formule précédente):

P_{vb} puissance dissipée lors d'un fonctionnement en dérivation.

NOTE 2 Le facteur de 0,1 est basé sur une chute de tension type du contact de dérivation, comparée à la chute de tension du semiconducteur.

5.3.7.3 Pertes de l'appareil de commande à semiconducteurs

La puissance consommée de l'appareil de commande à semiconducteurs, y compris les ventilateurs le cas échéant, est obtenue par une mesure conformément au 9.3.3.2.

5.4 Catégorie d'emploi

5.4.1 Généralités

Le paragraphe 5.4 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec les ajouts suivants.

Pour les gradateurs et les démarreurs, les catégories d'emploi énumérées dans le Tableau 1 sont considérées comme normales. Tout autre type d'emploi doit reposer sur un accord entre le fabricant et l'utilisateur, mais les informations données dans le catalogue ou la soumission du fabricant peuvent constituer un tel accord.

Chaque catégorie d'emploi (voir Tableau 1) est caractérisée par les valeurs des courants, des tensions, des facteurs de puissance et des autres données du Tableau 2, du Tableau 7, du Tableau 8, du Tableau 9 et du Tableau 10, ainsi que par les conditions d'essai spécifiées dans le présent document.

Les catégories d'emploi AC-2a, AC-3a et AC-8a (avec le suffixe "a") sont définies pour les cycles de service complets conformément à 5.3.4.2, alinéa a).

Les catégories d'emploi AC-2b, AC-3b et AC-8b (avec le suffixe "b") sont définies pour les cycles de service de démarrage et d'arrêt conformément à 5.3.4.2, alinéa b).

5.4.2 Attribution des caractéristiques assignées suivant les résultats d'essais

Un gradateur ou un démarreur donné, auquel a été attribuée une catégorie d'emploi vérifiée par des essais, peut se voir assigner d'autres caractéristiques sans essai supplémentaire, à condition que les points suivants soient respectés:

- le courant et la tension assignés d'emploi vérifiés par des essais ne doivent pas être inférieurs aux caractéristiques à assigner sans essai;
- les exigences relatives à la catégorie d'emploi et au cycle de service pour les caractéristiques assignées par essai doivent être égales à ou plus sévères que celles à assigner sans essai; les niveaux correspondants de sévérité sont donnés dans le Tableau 2;
- le profil de courant de surcharge pour les caractéristiques assignées par essai doit être égal à ou plus sévère que celui correspondant aux caractéristiques à assigner sans essai, conformément aux niveaux de sévérité relatifs du Tableau 2. Seules les valeurs de X inférieures à celles soumises à essai peuvent être assignées sans essai.

Tableau 1 – Catégories d'emploi

Catégorie d'emploi spécifique	Catégorie d'emploi harmonisée ^a	Charge de moteur type	Séquence de cycle de service ^b
AC-52a	AC-2a	Moteur à bagues	A ^c
AC-52b	AC-2b		B ^d
AC-53a	AC-3a	Moteurs à cage d'écureuil	A ^c
AC-53b	AC-3b		B ^d
AC-58a	AC-8a	Compresseur hermétique de réfrigération	A ^c
AC-58b	AC-8b		B ^d
^a Les nouvelles catégories d'emploi établies par l'Annexe A de l'IEC 60947-1:2020 sont proposées pour remplacer les catégories d'emploi spécifiques mais celles-ci restent valables.			
^b Comprend le gradateur ou le démarreur entier.			
^c Séquence A en tant que cycle de service complet.			
^d Séquence B en tant que cycle de service de démarrage et d'arrêt.			

Tableau 2 – Niveaux de sévérité relatifs

Niveau de sévérité	Catégorie d'emploi	Profil de courant de surcharge ^{a, c}	Exigences de la durée à l'état passant/non passant ^b
Le plus sévère	AC-2a	Valeur maximale de $(XI_e)^2 \cdot T_x$	Valeur maximale de $F \cdot S$
	AC-3a		
	AC-8a		
	AC-2b	Valeur maximale de $(XI_e)^2 \cdot T_x$	Valeur minimale de la durée à l'état non passant
	AC-3b		
	AC-8b		

^a Lorsque la valeur maximale de $(XI_e)^2 \cdot T_x$ survient pour plus d'une valeur de XI_e , la valeur maximale de XI_e s'applique.

^b Lorsque la valeur maximale de $F \cdot S$ survient pour plus d'une valeur de S , la valeur maximale de S s'applique.

^c Lorsque la valeur maximale de $(XI_e)^2 \cdot T_x$ survient pour plus d'une valeur de la durée à l'état non passant, la valeur minimale de la durée à l'état non passant s'applique.

5.5 Circuits de commande

Le paragraphe 5.5.1 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec les ajouts suivants.

La liste des caractéristiques donnée en 5.5.1 de l'IEC 60947-1:2020 doit être complétée par:

- l'énergie limitée (si la source est conforme à 8.1.14);
- l'alimentation très basse tension de sécurité (TBTS) (très basse tension de protection (TBTP)) (conformément à l'Annexe N de l'IEC 60947-1:2020).

NOTE Aux Etats-Unis et au Canada, les circuits de commande sont considérés comme des sources de classe 2 telles que définies dans le National Electrical Code (NFPA 70) et le Code canadien de l'électricité (CSA C22.1).

5.6 Circuits auxiliaires

Le paragraphe 5.6 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec les ajouts suivants.

Les circuits électroniques auxiliaires remplissent des fonctions utiles (par exemple surveillance, acquisition de données, etc.), qui ne sont pas nécessairement des fonctions mises en œuvre pour l'obtention des caractéristiques de fonctionnement attendues.

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 fabricant d'en définir les valeurs critiques.

Les entrées et/ou sorties numériques contenues dans les gradateurs et les démarreurs de moteurs, destinées à être compatibles avec les automates programmables, doivent satisfaire aux exigences de l'Annexe S de l'IEC 60947-1:2020.

5.7 Caractéristiques des relais et déclencheurs (relais de surcharge)

NOTE Dans le reste du présent document, l'expression "relais de surcharge" est employée pour désigner, suivant le cas, aussi bien un relais de surcharge qu'un déclencheur de surcharge.

5.7.1 Enumération des caractéristiques

Les caractéristiques des relais et des déclencheurs doivent être indiquées dans les termes suivants, s'il y a lieu:

- types du relais ou du déclencheur (voir 5.7.2);
- valeurs caractéristiques (voir 5.7.3);
- désignation et courant de réglage des relais de surcharge (voir 5.7.4);
- caractéristiques temps-courant des relais de surcharge (voir 5.7.5);
- influence de la température de l'air ambiant (voir 5.7.6).

5.7.2 Types du relais ou du déclencheur

- a) Relais ou déclencheur d'ouverture à minimum de tension et à minimum de courant.
- b) Relais de surcharge temporisé, dont le retard est:
 - 1) notablement indépendant de la charge préalable;
 - 2) dépendant de la charge préalable;
 - 3) dépendant de la charge préalable et également sensible à une perte de phase.
- c) Relais ou déclencheur à maximum de courant à fonctionnement instantané (par exemple sensible au blocage).
- d) Autres relais ou déclencheurs (par exemple relais de commande associé à des dispositifs de protection thermique du démarreur).
- e) Relais ou déclencheur électronique de surcharge sensible au calage.

5.7.3 Valeurs caractéristiques

- a) Déclencheur shunt, relais ou déclencheur d'ouverture à minimum de tension (minimum de courant), à maximum de tension (maximum de courant à fonctionnement instantané), à déséquilibre de courant ou de tension et à inversion de phase:
 - tension (ou courant) assigné(e);
 - fréquence assignée;
 - tension (courant) de fonctionnement;
 - temps de fonctionnement (s'il y a lieu);
 - temps d'inhibition (s'il y a lieu).
- b) Relais de surcharge:
 - désignation et courant de réglage (voir 5.7.4);

- fréquence assignée, si nécessaire (par exemple dans le cas d'un relais de surcharge alimenté par un transformateur de courant);
- caractéristiques temps-courant (ou domaine de caractéristiques), s'il y a lieu;
- temps de fonctionnement des relais électroniques de surcharge de défaut à la terre conformément au Tableau T.1 de l'IEC 60947-1:2020 le cas échéant;
- classe de déclenchement selon la classification du Tableau 4, ou valeur de la durée maximale de déclenchement, exprimée en secondes, dans les conditions spécifiées en 8.2.1.5.1.1.1 et dans le Tableau 4, colonne *D*, lorsque cette durée dépasse 40 s;
- nature du relais: thermique, électronique ou électronique sans mémoire thermique; les relais électroniques sans mémoire thermique doivent être marqués ~~Th~~;
- désignation de type pour les relais de surcharge à fonctions étendues (voir Annexe T de l'IEC 60947-1:2020) le cas échéant;
- nature du réarmement: manuel ou manuel/automatique; en cas de réarmement manuel/automatique, la position définie doit être indiquée;
- temps de déclenchement des relais de surcharge de classe 10A, lorsque celui-ci est supérieur à 2 min à 0 °C ou moins (voir 8.2.1.5.1.1.1, alinéa c).

c) Déclencheur avec relais de détection de courant résiduel:

- courant assigné;
- courant admissible;
- temps de fonctionnement ou caractéristique temps-courant selon le Tableau T.1 de l'IEC 60947-1:2020;
- temps d'inhibition (s'il y a lieu);
- désignation de type (voir Annexe T de l'IEC 60947-1:2020).

Tableau 3 – Classes de déclenchement des relais de surcharge

Classe de déclenchement	Temps de déclenchement T_p dans les conditions spécifiées en 8.2.1.5.1.1.1 et dans le Tableau 4, colonne <i>D</i> ^a	Temps de déclenchement T_p dans les conditions spécifiées en 8.2.1.5.1.1.1 et dans le Tableau 4, colonne <i>D</i> pour les tolérances plus étroites (bande de tolérance E) ^a
	s	s
2	–	$T_p \leq 2$
3	–	$2 < T_p \leq 3$
5	$0,5 < T_p \leq 5$	$3 < T_p \leq 5$
10A	$2 < T_p \leq 10$	–
10	$4 < T_p \leq 10$	$5 < T_p \leq 10$
20	$6 < T_p \leq 20$	$10 < T_p \leq 20$
30	$9 < T_p \leq 30$	$20 < T_p \leq 30$
40	–	$30 < T_p \leq 40$

NOTE 1 Selon la nature du relais, les conditions de déclenchement sont données en 8.2.1.5.

NOTE 2 Les valeurs limites les plus faibles de T_p sont choisies pour tenir compte des différentes caractéristiques de l'élément chauffant et tolérances de fabrication.

^a Le fabricant doit ajouter la lettre E aux classes de déclenchement, pour indiquer la conformité à la bande E.

5.7.4 Désignation et courants de réglage des relais de surcharge

Les relais de surcharge sont désignés par leur courant de réglage (ou les limites supérieure et inférieure du domaine du courant de réglage, si celui-ci est réglable) et leur classe de déclenchement.

Le courant de réglage (ou le domaine des courants de réglage) doit être marqué sur les relais.

Cependant, si le courant de réglage dépend des conditions d'utilisation ou d'autres facteurs qui ne peuvent facilement être marqués sur le relais, le relais ou toute partie remplaçable de celui-ci (par exemple éléments chauffants, bobines de commande ou transformateurs de courant) doit porter un numéro ou un repère d'identification permettant d'obtenir les renseignements correspondants auprès du fabricant ou dans son catalogue ou, de préférence, à partir d'indications fournies avec le démarreur.

Pour les relais de surcharge fonctionnant à l'aide d'un transformateur de courant, les indications peuvent se rapporter soit au courant dans le primaire du transformateur de courant qui les alimente, soit au courant de réglage des relais de surcharge. Dans l'un et l'autre cas, le rapport de transformation du transformateur de courant doit être indiqué.

5.7.5 Caractéristiques temps-courant des relais de surcharge

Les caractéristiques temps-courant typiques doivent être données sous forme de courbes fournies par le fabricant. Ces courbes doivent indiquer comment le temps de déclenchement, à partir de l'état froid (voir 5.7.6), varie en fonction du courant jusqu'à une valeur d'au moins la valeur maximale ($X \times I_e$). Le fabricant doit être en mesure d'indiquer, par des moyens appropriés, les tolérances générales relatives à ces courbes ainsi que les sections des conducteurs utilisées pour établir ces courbes (voir 9.3.3.6.5, alinéa c)).

Il est recommandé de porter le courant en abscisses et le temps en ordonnées, en utilisant des échelles logarithmiques. Il est recommandé de porter le courant en multiples du courant de réglage et le temps en secondes, en utilisant les échelles normalisées décrites dans l'IEC 60269-1.

5.7.6 Influence de la température de l'air ambiant

Les caractéristiques temps-courant (voir 5.7.5) correspondent à une valeur déterminée de la température de l'air ambiant et elles se rapportent à une absence de charge préalable du relais de surcharge (c'est-à-dire à un état initial froid). Cette valeur de température de l'air ambiant doit être clairement indiquée sur les courbes de temporisation; les valeurs privilégiées sont +20 °C ou +40 °C.

Les relais de surcharge doivent pouvoir fonctionner dans le domaine de températures de l'air ambiant compris entre 0 °C et +40 °C; le fabricant doit être en mesure de spécifier l'effet des variations de la température de l'air ambiant sur les caractéristiques des relais de surcharge.

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

Les gradateurs et les démarreurs sont définis par le type, les grandeurs assignées et les caractéristiques de DPCC à utiliser afin de fournir la sélectivité pour les surintensités entre le démarreur et le DPCC, et la protection correcte du gradateur et du démarreur contre les courants de court-circuit.

Les exigences sont données en 8.2.5 du présent document et en 5.8 de l'IEC 60947-1:2020.

6 Informations sur le produit

6.1 Nature des informations

Les informations suivantes doivent être données par le fabricant:

Identification

- a) nom du fabricant ou sa marque de fabrique;
- b) désignation de type ou numéro de série;
- c) numéro du présent document;

Caractéristiques, valeurs assignées fondamentales et utilisation

- d) tensions assignées d'emploi (5.3.1.1);
- e) courants assignés d'emploi, catégorie d'emploi correspondante (5.4), profil du courant de surcharge (5.3.5.2), et valeur du cycle de service (5.3.4.1) ou durée à l'état non passant, comprenant l'index caractéristique;
 - un exemple de la représentation prescrite pour AC-2a, AC-3a, AC-8a est donné ci-après:
100 A: AC-3a: $6 \times I_e$ -6 s: 60 %-1/h
Cet exemple indique un courant assigné de 100 A pour des applications générales avec moteur à cage d'écureuil. L'appareil peut supporter un courant de 600 A pendant 6 s; un facteur de marche de 60 %; un cycle normalisé de manœuvres par heure;
 - un exemple de la représentation prescrite pour AC-2b, AC-3b, AC-8b est donné ci-après:
100 A: AC-3b: $3 \times I_e$ -52s: 1 440 s
Cet exemple indique un courant assigné de 100 A pour le démarrage seulement. L'appareil peut supporter 300 A pendant 52 s; la durée à l'état non passant ne doit pas être inférieure à 1 440 s avant de procéder à un nouveau démarrage;
- f) courant à l'état non passant maximal;
- g) soit la valeur de la fréquence assignée 50/60 Hz, soit d'autres fréquences assignées, par exemple 16 2/3 Hz, 400 Hz;

Sécurité et installation

- h1) tension assignée d'isolement (5.3.1.2);
- h2) séparation galvanique entre pôles le cas échéant;
- i) tension assignée de tenue aux chocs (5.3.1.3);
- j) code IP conformément à l'Annexe C de l'IEC 60947-1:2020;
- k) degré de pollution (7.1.3.2);
- l1) courant conditionnel de court-circuit assigné et type de coordination du gradateur ou du démarreur, et type, courant assigné et caractéristiques du DPCC associé (voir 5.8);
- l2) caractéristiques de l'organe de serrage de borne comprenant les éléments suivants:
 - longueur à dénuder avant insertion du conducteur dans la borne;
 - nombre maximal de conducteurs pouvant être bridés;Pour les bornes sans vis non universelles:
 - "s" ou "sol" pour les bornes déclarées pour conducteurs massifs à âme rigide;
 - "r" pour les bornes déclarées pour conducteurs à âme rigide (massifs et toronnés);
 - "f" pour les bornes déclarées pour conducteurs souples;

NOTE Aux Etats-Unis, "str" est utilisé pour identifier les terminaux déclarés pour des conducteurs toronnés.

Circuits de commande

- m) tension assignée du circuit de commande U_c , nature du courant et fréquence assignée et, si nécessaire, tension assignée d'alimentation du circuit de commande U_s , nature du courant et fréquence assignée, et toute autre information nécessaire (par exemple exigences d'impédance d'adaptation), afin d'assurer un fonctionnement satisfaisant des circuits de commande (voir Annexe U de l'IEC 60947-1:2020 pour des exemples de configurations de circuits de commande);

Circuits auxiliaires

- n) nature et caractéristiques assignées des circuits auxiliaires (5.6);

Relais et déclencheurs de surcharge

- o) caractéristiques selon 5.7.2, 5.7.5 et 5.7.6;
- p) caractéristiques selon 5.7.3 et 5.7.4;

Niveaux d'émission et d'immunité CEM

- q1) niveaux d'immunité obtenus et exigences spécifiques nécessaires pour maintenir la conformité (8.3.2);
- q2) classe d'appareils et exigences spécifiques nécessaires pour maintenir la conformité (8.3.3);
- q3) si un filtre CEM externe est exigé pour respecter les niveaux d'émission donnés dans le Tableau 17, cela doit être spécifié dans le catalogue et dans le manuel d'instructions;

Informations supplémentaires

- r) référence aux accessoires de câblage dédiés pouvant être utilisés pour raccorder le gradateur ou le démarreur à semiconducteurs de moteurs;
- s) type de matériel selon 5.2;
- t) altitude maximale admise du lieu d'installation, si elle dépasse 1 000 m;
- u1) impédance de pôle (Z) de l'appareil mécanique de connexion en parallèle d'un gradateur ou démarreur à semiconducteurs de moteurs à dérivation conformément à l'IEC 60947-4-1;
- u2) déclaration de matière conformément à l'Annexe W de l'IEC 60947-1:2020;
- u3) puissance dissipée du gradateur à semiconducteurs de moteurs.

6.2 Marquage

Le paragraphe 6.2 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique aux gradateurs et aux démarreurs, avec les ajouts suivants:

Les indications des alinéas d) à u) de 6.1 doivent figurer sur la plaque signalétique ou sur le matériel, ou sur les notices techniques du fabricant.

Les indications des alinéas c), k) (si le degré de protection est différent de IP00) et q) de 6.1 doivent être marquées sur le matériel; les caractéristiques temps-courant (ou plage de caractéristiques) peuvent être fournies dans les notices techniques du fabricant.

6.3 Instructions d'installation, de fonctionnement, de maintenance, de mise hors service et de démontage

Le paragraphe 6.3 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec l'ajout suivant.

Ces instructions doivent également couvrir tous les accessoires de câblage dédiés.

Le fabricant d'un démarreur à semiconducteurs incorporant un relais de surcharge à réarmement automatique pouvant être connecté pour permettre un redémarrage automatique, doit fournir des renseignements avec le démarreur, pour alerter l'utilisateur de la possibilité d'un redémarrage automatique.

Pour les produits répondant aux dispositions du présent document, les points spécifiques suivants doivent être considérés:

- dans l'éventualité d'un court-circuit;
- en présence d'un mode de fonctionnement spécifique, le cas échéant;
- en cas d'utilisation d'appareils mécaniques de connexion dans le gradateur ou démarreur à semiconducteurs de moteurs (voir 8.2.1.6);
- dans l'éventualité d'un échauffement supérieur à 50 K de la surface du radiateur métallique de l'appareil.

Si la construction exige une alimentation par une source externe qui n'est pas une source d'énergie limitée telle que définie en 8.1.14, le fabricant doit fournir les renseignements appropriés sur la protection des accès contre les courts-circuits et les surintensités.

Pour chaque risque potentiel approprié, le fabricant doit fournir des signaux de sécurité, des symboles graphiques ou des notes de sécurité concernant le risque, par exemple en utilisant l'IEC 60417-5036:2002. Les mentions d'avertissement sont données par l'ISO 3864-2.

NOTE L'ISO/IEC 82079-1 fournit des recommandations pour élaborer des instructions de sécurité.

Ces instructions doivent également fournir des renseignements sur l'installation d'un dispositif de déconnexion lorsqu'il est nécessaire de réaliser des actions de maintenance en aval du gradateur ou démarreur à semiconducteurs.

6.4 Informations relatives à l'environnement

Le paragraphe 6.4 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

Le cas échéant, les déclarations de matière doivent être fournies conformément à l'Annexe W de l'IEC 60947-1:2020.

NOTE La future publication IEC TS 63058 donnera la méthode d'évaluation de l'impact environnemental de l'appareillage.

7 Conditions de service normal, de montage et de transport

7.1 Conditions de service normal

7.1.1 Température de l'air ambiant

Le paragraphe 7.1.1 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec l'exception que toutes les références à –5 °C sont remplacées par 0 °C.

7.1.2 Altitude

Lorsque l'évaluation est faite à plus de 1 000 m, le fabricant doit spécifier l'altitude maximale en prenant en compte:

- la limite thermique, pour un fonctionnement prévu au-dessus de 1 000 m;
- les considérations de coordination de l'isolement, pour un fonctionnement prévu au-dessus de 2 000 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. Le matériel électrique prévu pour fonctionner dans ces conditions est construit ou utilisé conformément à un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

7.1.3 Conditions atmosphériques

7.1.3.1 Humidité

Le paragraphe 7.1.3.1 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

7.1.3.2 Degrés de pollution

Sauf spécification contraire du fabricant, les gradateurs et les démarreurs sont destinés à être utilisés dans des conditions d'environnement de degré de pollution 3, définies en 7.1.3.2 de l'IEC 60947-1:2020. Toutefois, d'autres degrés de pollution peuvent s'appliquer, en fonction du micro-environnement.

7.1.4 Chocs et vibrations

Le paragraphe 7.1.4 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec l'ajout suivant:

Les conditions normales de vibrations sont définies dans la Note de bas de tableau b du Tableau Q.1 de l'IEC 60947-1:2020.

7.2 Conditions pendant le transport et le stockage

Le paragraphe 7.2 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

7.3 Montage

Le paragraphe 7.3 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

Le profilé-support doit être spécifié conformément à l'IEC 60715, s'il y a lieu.

7.4 Perturbations du réseau électrique et influences

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

8 Exigences relatives à la construction et aux performances

8.1 Exigences relatives à la construction

8.1.1 Généralités

Le paragraphe 8.1.1 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec l'ajout suivant.

Des mesures doivent être indiquées pour réduire les probabilités de blessure et de dégâts matériels lors de l'installation, d'une maintenance, dans des conditions normales ou anormales de fonctionnement, et pour les mauvais usages raisonnablement prévisibles. Les exigences du présent document sont destinées à fournir ces mesures.

La protection contre les risques engendrés par les circuits électroniques doit être maintenue dans les conditions normales et de premier défaut, comme spécifié dans le présent document.

Les composants utilisés dans la construction du matériel qui sont conformes à une norme de produit IEC correspondante n'exigent pas d'évaluation séparée. Les composants ou les ensembles de composants pour lesquels aucune norme de produit n'existe doivent être soumis à essai conformément aux exigences du présent document. Lors de l'emploi d'appareils mécaniques de connexion, il convient que ceux-ci satisfassent aux exigences de leur propre norme de produit IEC et aux exigences supplémentaires du présent document.

Lorsque le produit est destiné à être utilisé avec un matériel auxiliaire spécifique et des accessoires de câblage dédiés, l'évaluation de sécurité et l'essai doivent les inclure, à moins qu'il ne puisse être montré qu'ils n'affectent pas la sécurité d'un matériel.

La partie accessible de l'appareil, notamment les organes de manœuvre, ne doit pas présenter d'arêtes vives ni d'angles susceptibles de blesser l'opérateur.

Le manuel utilisateur doit détailler toutes les mesures de sécurité destinées à l'utilisateur. Un avertissement clair doit être donné dans le manuel utilisateur lorsque des ajustements ou des réglages peuvent entraîner un danger.

Il est nécessaire que le réglage d'un déclencheur de surcharge à réarmement automatique soit signalé dans le manuel utilisateur avec un avertissement de sécurité distinct.

Il convient que l'Annexe O de l'IEC 60947-1:2020 soit considérée avec attention, en particulier pour la substitution ou la réduction de l'utilisation de substances dangereuses ou, si ce n'est pas possible, pour fournir des mesures visant à empêcher leur émission et le contact avec elles.

8.1.2 Matériaux

8.1.2.1 Exigences générales relatives aux matériaux

Le paragraphe 8.1.2.1 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec les ajouts suivants.

Il n'est pas exigé des pièces de matériau isolant situées dans des circuits électriques alimentés par des sources d'énergie limitée conformément au 8.1.14 qu'elles satisfassent aux exigences du présent paragraphe.

NOTE Les aspects relatifs aux risques du feu sont détaillés dans l'IEC TR 63054.

8.1.2.2 Essai au fil incandescent

Le paragraphe 8.1.2.2 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec l'ajout suivant.

Lorsque les essais sur le matériel ou sur des parties issues du matériel sont utilisés, les pièces de matériau isolant nécessaires au maintien en position des parties transportant le courant doivent satisfaire à l'essai au fil incandescent de 9.2.2.1 de l'IEC 60947-1:2020, à une température d'essai de 850 °C.

8.1.2.3 Essai selon la catégorie d'inflammabilité

Le paragraphe 8.1.2.3 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

8.1.3 Parties transportant le courant et leurs connexions

Le paragraphe 8.1.3 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec l'ajout suivant.

Le câblage soumis à des mouvements ou flexions lors de son usage prévu, ou pendant une opération de maintenance mécanique, tel que le câblage entre une partie fixe et une partie montée sur une porte ou un capot articulé, doit cheminer et être fixé de manière à ne pas endommager le fil lors de l'ouverture et de la fermeture de la porte ou du capot.

8.1.4 Distances d'isolement et lignes de fuite

Le paragraphe 8.1.4 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec les ajouts suivants.

Il n'est pas exigé des distances d'isolement et lignes de fuite au sein des circuits alimentés par des sources d'énergie limitée telles que définies en 8.1.14, y compris celles sur des cartes imprimées (CI), qu'elles satisfassent aux exigences de 8.1.4 de l'IEC 60947-1:2020.

Lorsque des circuits TBTS et TBTP sont accessibles, ils doivent être séparés des autres parties actives dangereuses conformément aux exigences de l'Annexe N pour l'impédance de protection en plus de l'Annexe N de l'IEC 60947-1:2020.

NOTE 1 Si certains circuits sont accessibles uniquement en conditions de maintenance ou dans des conditions similaires, ils peuvent, selon le niveau de risque (gravité du dommage et probabilité d'occurrence), être pris en compte dans les conditions de service normal (voir 6.1), et n'utiliser qu'une isolation principale. Les parties accessibles peuvent être déterminées en utilisant des calibres d'essai, conformément à l'IEC 61032.

NOTE 2 La nature même d'un semiconducteur le rend inadapté à une utilisation à des fins d'isolement.

8.1.5 Organe de commande

Vide.

8.1.6 Indication de la position des contacts

Vide.

8.1.7 Exigences supplémentaires pour les matériels aptes au sectionnement

Vide.

8.1.8 Bornes

8.1.8.1 Généralités

Le paragraphe 8.1.8 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec les exigences supplémentaires suivantes.

8.1.8.2 Identification et marquage des bornes

Le paragraphe 8.1.8.4 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec les exigences supplémentaires de l'Annexe A et les suivantes.

Le matériel peut être équipé de moyens destinés au raccordement à la terre à des fins exclusivement fonctionnelles (par opposition à la terre de protection). Ces moyens doivent disposer d'un marquage ou être fournis avec d'autres identifications conformément à l'IEC 60445.

8.1.9 Exigences supplémentaires relatives aux matériels dotés d'un pôle neutre

Vide.

8.1.10 Dispositions pour assurer la mise à la terre de protection

Le paragraphe 8.1.10 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

8.1.11 Enveloppes pour le matériel

Le paragraphe 8.1.11 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

8.1.12 Degrés de protection du matériel sous enveloppe

Le paragraphe 8.1.12 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

8.1.13 Traction, torsion et flexion avec des conduits métalliques

Le paragraphe 8.1.13 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

8.1.14 Source d'énergie limitée

8.1.14.1 Généralités

Une source d'énergie limitée peut être mise en œuvre comme un circuit secondaire dérivé de circuits connectés à la partie active dangereuse avec les moyens de séparation suivants:

- a) séparation galvanique;
- b) impédance de limitation de courant.

NOTE Les sources de classe 2 telles que définies dans le National Electrical Code (NFPA 70) et le Code canadien de l'électricité (CSA C22.1) disposent des mêmes caractéristiques de sortie électrique que les sources d'énergie limitée avec séparation galvanique.

8.1.14.2 Source d'énergie limitée avec séparation galvanique

Une source d'énergie limitée avec séparation galvanique intègre un composant isolant comme un transformateur entre le circuit primaire et la sortie d'énergie limitée. Elle doit satisfaire à l'une des exigences suivantes:

- a) l'énergie de sortie est limitée par construction conformément au Tableau 19; ou
- b) une impédance linéaire ou non linéaire limite l'énergie de sortie conformément au Tableau 19. Si un dispositif à coefficient de température positif (CTP, par exemple une thermistance CTP) est utilisé, il doit satisfaire aux essais spécifiés dans l'IEC 60730-1; ou
- c) un circuit de régulation limite l'énergie de sortie conformément au Tableau 19, à la fois avec et sans premier défaut dans le circuit de régulation; ou
- d) un dispositif de protection contre les surintensités limite l'énergie de sortie conformément au Tableau 20.

Lorsqu'un dispositif de protection contre les surintensités est utilisé, ce doit être un élément fusible ou un dispositif électromécanique non réglable.

La conformité relative à la détermination de la puissance maximale disponible est vérifiée par l'essai de 9.2.4.

Dans le cas d'alimentations externes sans dispositif de protection contre les surintensités, elles ne doivent pas dépasser les valeurs indiquées dans le Tableau 19. Dans le cas d'alimentations externes avec dispositifs de protection contre les surintensités, elles ne doivent pas dépasser les valeurs indiquées dans le Tableau 20.

Tableau 19 – Limites pour les sources d'énergie limitée sans dispositif de protection contre les surintensités

Tension de sortie ^a		Courant de sortie ^{b, d}	Puissance maximale ^c
U_{oc}			
V c.a.	V c.c.	I_{sc} A	S VA
≤ 30 V efficace	≤ 30 V	≤ 8	100
-	$30 < U_{oc} \leq 60$ ^e	$\leq \frac{150}{U_{oc}}$	100

NOTE Ce tableau sera déplacé dans une future révision de l'IEC 60947-1 et il n'est donc pas numéroté comme les autres tableaux du présent document.

^a U_{oc} : tension de sortie mesurée conformément à tous les circuits de charge déconnectés. Les tensions sont données pour du courant alternatif pratiquement sinusoïdal et du courant continu sans ondulation. Pour les courants alternatifs non sinusoïdaux et pour les courants continus avec une ondulation supérieure à 10 % crête, sa valeur de crête ne doit pas dépasser 42,4 V.

^b I_{sc} : courant maximal de sortie avec une charge non capacitive quelconque, y compris un court-circuit.

^c S (VA): puissance apparente maximale avec une charge non capacitive quelconque comme déterminée en 9.2.4.

^d La mesure de I_{sc} est effectuée 5 s après l'application de la charge si la protection est assurée par un circuit électronique ou un dispositif à coefficient de température positif (par exemple une thermistance CTP), et 60 s dans les autres cas.

^e Aux Etats-Unis, la limite est de 60 V en courant continu en dehors de la plage de 10 Hz à 200 Hz, et de 24,8 V en courant continu dans la plage de 10 Hz à 200 Hz.

Tableau 20 – Limites pour les sources d'énergie limitée avec dispositif de protection contre les surintensités

Tension de sortie ^a U_{oc}		Courant de sortie ^b , I_{sc} A	Puissance maximale ^{c, d} S VA	Valeur du courant assigné du dispositif de protection contre les surintensités ^e A
V c.a.	V c.c.			
≤ 20	≤ 20	$\leq \frac{1000}{U_{oc}}$	250	≤ 5,0
$20 < U_{oc} \leq 30$	$20 < U_{oc} \leq 30^f$			$\leq \frac{100}{U_{oc}}$
-	$30 < U_{oc} \leq 60^f$			$\leq \frac{100}{U_{oc}}$

NOTE 1 La raison pour laquelle les mesures sont effectuées avec les dispositifs de protection contre les surintensités à dérivation conformément à la Note ^d est de déterminer la quantité d'énergie disponible qui pourrait provoquer une surchauffe pendant le délai de fonctionnement des dispositifs de protection contre les surintensités.

NOTE 2 Ce tableau sera déplacé dans une future révision de l'IEC 60947-1, il n'est donc pas numéroté comme les autres tableaux du présent document.

^a U_{oc} : tension de sortie mesurée conformément à tous les circuits de charge déconnectés. Les tensions sont pour du courant alternatif pratiquement sinusoïdal et du courant continu sans ondulation. Pour les courants alternatifs non sinusoïdaux et pour les courants continus avec une ondulation supérieure à 10 % crête, la valeur de crête ne doit pas dépasser 42,4 V.

^b I_{sc} : courant de sortie maximal avec toute charge non capacitive, y compris un court-circuit, mesuré 60 s après l'application de la charge.

^c S (VA): puissance apparente maximale, quelle que soit la charge non capacitive, mesurée 60 s après l'application de la charge comme déterminée en 9.2.4.

^d Les impédances de limitation de courant sont maintenues pendant la mesure mais tout dispositif de protection contre les surintensités est contourné.

^e Les valeurs du courant assigné du dispositif de protection contre les surintensités qui coupent le circuit en moins de 120 s avec un courant égal à 210 % de la valeur du courant assigné spécifiée dans le tableau.

^f Aux Etats-Unis, la limite est de 60 V en courant continu en dehors de la plage de 10 Hz à 200 Hz, et de 24,8 V en courant continu dans la plage de 10 Hz à 200 Hz.

8.1.14.3 Source d'énergie limitée avec impédance de limitation de courant

Une source d'énergie limitée avec impédance de limitation de courant possède les caractéristiques suivantes:

- la tension de sortie est limitée conformément au Tableau 21; et
- une impédance linéaire ou non linéaire limite l'énergie de sortie conformément au Tableau 21, à la fois avec et sans premier défaut dans le circuit de régulation.

Une source d'énergie limitée avec impédance de limitation de courant peut être dérivée de l'un des réseaux ou d'un circuit isolé galvaniquement, par exemple le réseau secondaire d'un transformateur.

Tableau 21 – Limites pour une source d'énergie limitée avec impédance de limitation de courant

Tension de sortie ^a		Courant de sortie ^{b, d}	Puissance maximale ^c
U_{oc}			
V c.a.	V c.c.	I_{sc} A	S VA
≤ 30 V efficace	≤ 30 V	0,5	15
NOTE Ce tableau sera déplacé dans une future révision de l'IEC 60947-1 et il n'est donc pas numéroté comme les autres tableaux du présent document.			
^a U_{oc} : tension de sortie mesurée conformément à tous les circuits de charge déconnectés. Les tensions sont données pour du courant alternatif pratiquement sinusoïdal et du courant continu sans ondulation. Pour les courants alternatifs non sinusoïdaux et pour les courants continus avec une ondulation supérieure à 10 % crête, la valeur de crête ne doit pas dépasser 42,4 V. ^b I_{sc} : courant de sortie maximal mesuré par la sortie d'une source d'énergie limitée. ^c S (VA): puissance apparente maximale comme déterminée en 9.2.4. ^d La mesure de I_{sc} est effectuée 5 s après l'application du court-circuit.			

8.1.15 Circuit d'énergie de charge emmagasinée

Les pièces contenant une charge emmagasinée (condensateurs) et qui sont accessibles (comme une borne de bobine) ou peuvent être retirées pour des opérations d'entretien (comme le remplacement d'une bobine), d'installation ou de déconnexion ne doivent présenter aucun risque de danger électrique après déconnexion.

Les condensateurs connectés à des parties actives dangereuses doivent être déchargés à un niveau d'énergie inférieur à 0,5 mJ dans les 5 s suivant la coupure de l'alimentation. Autrement, un avertissement visible doit être placé sur le produit, indiquant le temps de décharge aux valeurs limites ou une méthode préférable pour décharger le condensateur avant de toucher les pièces de connexion.

8.1.16 Conditions anormales et de défaut

Le produit doit être conçu de façon à éviter les modes ou les séquences de fonctionnement susceptibles de provoquer une condition de défaut ou une défaillance d'un composant amenant un danger, à moins que d'autres mesures ne soient fournies par l'installation pour empêcher ce danger et qu'elles soient décrites dans les informations d'installation fournies avec le produit. Les exigences du présent paragraphe s'appliquent également aux conditions anormales de fonctionnement, le cas échéant.

L'analyse des circuits ou les essais doivent être réalisés pour identifier les composants (y compris les systèmes d'isolation) dont la défaillance entraînerait un danger.

Cette analyse doit inclure les situations dans lesquelles la défaillance du composant (comprenant la surchauffe du semiconducteur de puissance) ou de l'isolation (principale et supplémentaire) entraînerait:

- une aggravation du risque de choc électrique;
- un risque de dégradation dû à l'émission de flamme, de particules incandescentes ou de métal en fusion engendré par le danger d'incendie;
- une surchauffe du semiconducteur de puissance.

L'analyse ou les essais doivent inclure les effets des conditions de court-circuit et de circuit ouvert du composant. Les essais sont nécessaires à moins que l'analyse puisse indubitablement démontrer l'absence de danger de choc électrique et de risques au feu en cas de défaillance du composant, dans des conditions de court-circuit et de circuit ouvert. La conformité doit être vérifiée par l'essai de 9.2.5.

Les composants dont la fiabilité a été évaluée conformément aux normes de produits appropriées sont considérés comme satisfaisant à ces exigences et ne nécessitent pas d'être soumis à d'autres examens, si les essais sont réalisés dans les mêmes conditions que celles pour lesquelles le produit est conçu.

8.1.17 Protection des accès contre les courts-circuits et les surcharges

Lorsque la source d'énergie d'un accès de signaux ou d'un accès de puissance externe à l'appareil ne respecte pas les exigences pour les sources d'énergie limitée en 8.1.14, le produit ne doit présenter aucun danger dans des conditions de court-circuit ou de surcharge. Les instructions pour l'installation d'une protection externe contre les surintensités doivent être rendues disponibles selon 6.3.

La conformité doit être vérifiée par examen et si nécessaire par simulation des conditions de premier défaut.

8.2 Exigences relatives au fonctionnement

8.2.1 Conditions de fonctionnement

8.2.1.1 Généralités

Les appareils auxiliaires utilisés dans les gradateurs et les démarreurs doivent être manœuvrés suivant les instructions du fabricant et suivant la norme de produit correspondante.

8.2.1.1.1 Les gradateurs et les démarreurs doivent être construits de façon à:

- a) être à déclenchement libre;
- b) être susceptibles de revenir à l'état passant ou non passant par les moyens prévus lorsqu'ils sont en fonctionnement contrôlé, et à tout instant durant la séquence de démarrage ou au cours de n'importe quelle manœuvre par impulsions.

La conformité est vérifiée selon 9.3.3.6.3.

8.2.1.1.2 Les gradateurs et les démarreurs ne doivent pas présenter de dysfonctionnement 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 9.3.3.6.3.

8.2.1.1.3 Les contacts mobiles des appareils mécaniques de connexion en série dans les gradateurs et démarreurs à semiconducteurs de moteurs 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 et démarreurs

Les gradateurs ou démarreurs 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 d'alimentation du circuit de commande, U_s , lorsqu'ils sont soumis à essai selon 9.3.3.6.3. Lorsqu'un domaine de tension est annoncé, le seuil de 85 % doit s'appliquer à la valeur la plus basse et le seuil de 110 % à la valeur la plus forte.

8.2.1.3 Limites de fonctionnement des relais et déclencheurs à minimum de tension

Un relais ou déclencheur à minimum de tension peut être associé à un gradateur ou démarreur à semiconducteurs de moteurs. En plus des exigences d'essai de 9.3.3.6.5, les limites de fonctionnement des relais et déclencheurs à minimum de tension doivent être définies par le fabricant le cas échéant.

8.2.1.4 Limites de fonctionnement des déclencheurs à émission de courant (déclencheurs shunt)

Vide.

8.2.1.5 Limites de fonctionnement des relais et déclencheurs à détection de courant

8.2.1.5.1 Relais et déclencheurs des démarreurs

8.2.1.5.1.1 Limites de fonctionnement des relais de surcharge temporisés quand tous leurs pôles sont alimentés

8.2.1.5.1.1.1 Exigences générales de déclenchement des relais de surcharge

NOTE 1 La protection thermique des moteurs en présence d'harmoniques dans la tension d'alimentation est à l'étude.

Les relais doivent satisfaire aux exigences du Tableau 4, lorsqu'ils sont soumis à essai comme suit:

- a) le relais de surcharge ou le démarreur étant dans son enveloppe, s'il en est normalement équipé, la manœuvre de déclenchement ne doit pas se produire en moins de 2 h à A fois le courant de réglage, à partir de l'état froid, à la température de référence de l'air ambiant précisée dans le Tableau 4. Cependant, lorsque les bornes du relais de surcharge ont atteint l'équilibre thermique, avec le courant d'essai, en moins de 2 h, la durée de l'essai peut être le temps mis pour atteindre cet équilibre thermique;
- b) lorsque le courant est ensuite augmenté à B fois la valeur du courant de réglage, la manœuvre de déclenchement doit se produire en moins de 2 h;
- c) pour les relais de surcharge de classes 2, 3, 5 et 10A alimentés à C fois leur courant de réglage, la manœuvre de déclenchement doit se produire en moins de 2 min, à partir de l'équilibre thermique, au courant de réglage, conformément au 9.3.3 de l'IEC 60034-1:2017;

NOTE 2 Le paragraphe 9.3.3 de l'IEC 60034-1:2017 indique ce qui suit: "Les moteurs polyphasés dont la puissance assignée est inférieure ou égale à 315 kW et dont la tension assignée est inférieure ou égale à 1 kV doivent être capables de supporter un courant égal à 1,5 fois le courant assigné pendant au moins 2 min."

- d) pour les relais de surcharge de classes 10, 20, 30 et 40 alimentés à C fois leur courant de réglage, la manœuvre de déclenchement doit se produire en moins de 4 min, 8 min, 12 min ou 16 min respectivement, à partir de l'équilibre thermique, au courant de réglage;
- e) pour un démarreur à semiconducteurs sans fonction de limitation de courant à D fois le courant de réglage, la manœuvre de déclenchement doit se produire dans les limites fixées dans le Tableau 3, pour la classe de déclenchement et la bande de tolérance appropriées, à partir de l'état froid. Pour un démarreur à semiconducteurs avec fonction de limitation de courant, l'essai doit être réalisé au I_{lim} maximal et la manœuvre de déclenchement doit se produire dans les limites de temps déclarées par le fabricant conformément à 5.7.5.

NOTE 3 Pour les démarreurs à semiconducteurs avec fonction de limitation de courant et un relais de surcharge ayant un domaine de courants de réglage, les essais au I_{lim} maximal ne concernent que le réglage maximal du relais de surcharge. L'essai au réglage minimal peut être réalisé en procédant de la même façon que pour les essais sur appareils sans fonction de limitation de courant.

Dans le cas de relais de surcharge ayant un domaine de courants de réglage, les limites de fonctionnement doivent s'appliquer aussi bien lorsque le relais est parcouru par le courant correspondant au réglage maximal, que lorsqu'il est parcouru par le courant correspondant au réglage minimal.

Pour les relais de surcharge non compensés, la caractéristique multiple de courant/température ambiante ne doit pas dépasser 1,2 %/K.

NOTE 4 1,2 %/K est la caractéristique de déclassement des conducteurs isolés au PVC.

Un relais de surcharge est considéré comme compensé s'il satisfait aux exigences du Tableau 4 à +20 °C et s'il se trouve dans les limites du Tableau 4 à d'autres températures.

Tableau 4 – Limites de fonctionnement des relais de surcharge temporisés alimentés sur tous leurs pôles

Type de relais de surcharge	Multiples de la valeur du courant de réglage				Valeurs de température de l'air ambiant
	A	B	C	D	
Type thermique non compensé pour les variations de température de l'air ambiant	1,0	1,2 ^b	1,5	7,2	+40 °C
Type thermique compensé pour les variations de température de l'air ambiant	c	c	–	–	Moins de 0 °C ^d
	1,05	1,3	1,5	–	0 °C
	1,05	1,2 ^b	1,5	7,2	+20 °C
	1,0	1,2 ^b	1,5	–	+40 °C
	c	c	–	–	Plus de +40 °C ^d
Type électronique ^a	1,05	1,2 ^b	1,5	7,2	0 °C, +20 °C et +40 °C
^a Ces essais A, B et D doivent être réalisés uniquement à 20 °C. ^b Si cela est spécifié par le fabricant, le courant de déclenchement pourrait ne pas être égal à 120 %, mais il ne doit pas dépasser 125 %. Dans ce cas, la valeur du courant d'essai doit être égale à la valeur du courant de déclenchement. Dans ce cas, la valeur du courant de déclenchement doit être marquée sur le produit. ^c Il convient que le fabricant déclare les multiples de courant de réglage. ^d Voir 9.3.3.6.5 pour les essais en dehors de la plage 0 °C à +40 °C.					

8.2.1.5.1.1.2 Essai de vérification de la mémoire thermique

A moins que le fabricant n'ait spécifié que l'appareil ne comporte pas de mémoire thermique, les relais électroniques de surcharge doivent satisfaire aux exigences suivantes (voir Figure 3):

- appliquer un courant égal à I_e jusqu'à ce que l'appareil ait atteint l'équilibre thermique;
- interrompre le courant pendant une période de $2 \times T_p$ (voir Tableau 3) avec une tolérance relative de ± 10 % (où T_p est le temps mesuré au courant D selon le Tableau 4);
- appliquer un courant égal à $7,2 \times I_e$;
- le relais doit se déclencher dans les 50 % du temps T_p .

Pour un démarreur à semiconducteurs avec fonction de limitation de courant, l'essai doit être réalisé au I_{lim} maximal et la manœuvre de déclenchement doit se produire dans les limites de temps déclarées par le fabricant.

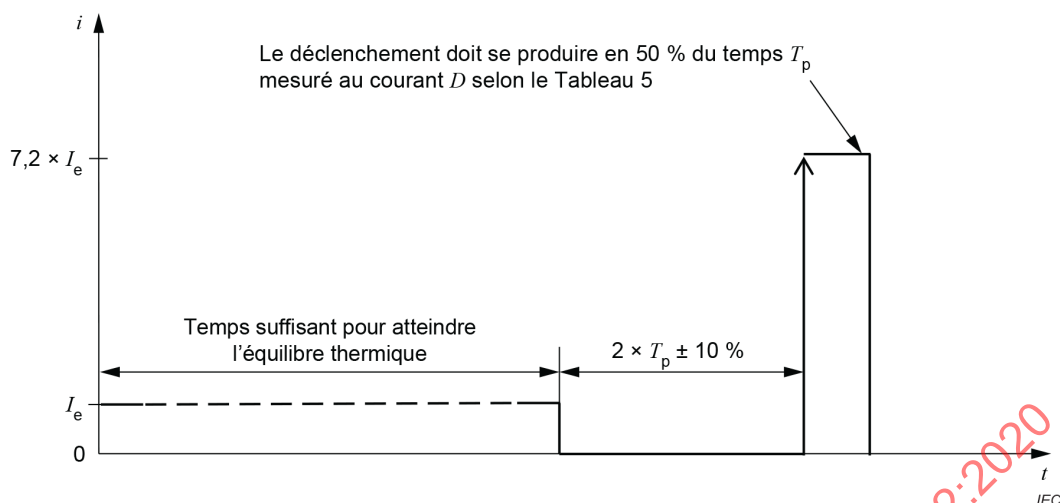


Figure 3 – Essai de la mémoire thermique

8.2.1.5.1.2 Limites de fonctionnement des relais de surcharge tripolaires temporisés alimentés sur deux pôles

En se reportant au Tableau 5:

Le relais de surcharge ou le démarreur doit être soumis à essai dans son enveloppe, s'il en est normalement équipé. Le relais étant alimenté sur trois pôles, à A fois le courant de réglage, la manœuvre de déclenchement ne doit pas se produire en moins de 2 h à partir de l'état froid, à la valeur de la température de l'air ambiant précisée dans le Tableau 5.

En outre, lorsque la valeur du courant passant dans deux pôles (ceux qui sont parcourus par le courant le plus élevé, dans le cas d'un relais ou déclencheur de surcharge sensible à une perte de phase) est portée à B fois la valeur du courant de réglage et que le troisième pôle est mis hors circuit, la manœuvre de déclenchement doit se produire en moins de 2 h.

Ces valeurs doivent s'appliquer à toutes les combinaisons des pôles.

Dans le cas des relais de surcharge ayant un courant de réglage ajustable, les caractéristiques doivent s'appliquer aussi bien lorsque le relais est parcouru par le courant correspondant au réglage maximal que lorsqu'il est parcouru par le courant correspondant au réglage minimal.

Tableau 5 – Limites de fonctionnement des relais de surcharge tripolaires temporisés alimentés sur deux pôles seulement

Type de relais de surcharge	Multiples de la valeur du courant de réglage		Température de référence de l'air ambiant
	A	B	
Thermique, compensé pour les variations de température de l'air ambiant, ou électronique Insensible à une perte de phase	3 pôles 1,0	2 pôles 1,32 1 pôle 0	+20 °C
Thermique, non compensé pour les variations de température de l'air ambiant Insensible à une perte de phase	3 pôles 1,0	2 pôles 1,25 1 pôle 0	+40 °C
Thermique, compensé pour les variations de température de l'air ambiant, ou électronique Sensible à une perte de phase	2 pôles 1,0 1 pôle 0,9	2 pôles 1,15 1 pôle 0	+20 °C

8.2.1.5.2 Relais et déclencheurs associés aux gradateurs

Les relais et les déclencheurs à associer à un gradateur pour assurer la protection du moteur 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 déclaré, X et T_x sont les valeurs correspondantes à l'index caractéristique pour lequel le produit $(XI_e)^2 \times T_x$ est le plus grand.

8.2.1.5.3 Limites de fonctionnement des relais à minimum de courant

Un relais ou un déclencheur à minimum de courant doit, lorsqu'il est associé à un appareil de connexion, provoquer l'ouverture de celui-ci dans un intervalle de temps compris entre 90 % et 110 % de la valeur de réglage du temps lorsque le courant pendant le fonctionnement est inférieur à 0,9 fois le réglage du minimum de courant dans tous les pôles.

8.2.1.5.4 Limites de fonctionnement des relais électroniques de surcharge sensibles au calage

Un relais électronique de surcharge sensible au calage doit, lorsqu'il est associé à un appareil de connexion, provoquer l'ouverture de celui-ci dans un intervalle de temps compris entre 80 % et 120 % de la valeur de réglage du temps (temps d'inhibition de calage) ou dans la précision spécifiée par le fabricant, lorsque:

- a) pour les relais de détection de courant, le courant est supérieur de 20 % à la valeur de réglage du courant de calage;

EXEMPLE Courant de réglage du relais de calage: 100 A; temps de réglage: 6 s; précision sur le réglage du temps: ± 10 %. Le relais se déclenche entre 5,4 s et 6,6 s lorsque le courant est supérieur ou égal à $100 \text{ A} \times 1,2 = 120 \text{ A}$.

- b) pour les relais de détection de rotation, un signal d'entrée indique l'absence de rotation du moteur.

8.2.1.5.5 Limites de fonctionnement des relais et déclencheurs électroniques de surcharge sensibles au blocage

Un relais ou un déclencheur électronique de surcharge sensible au blocage doit, lorsqu'il est associé à un appareil de connexion, provoquer l'ouverture de celui-ci dans un intervalle de temps compris entre 80 % et 120 % de la valeur de réglage du temps (temps d'inhibition de blocage) ou dans la précision spécifiée par le fabricant, lorsque le courant est supérieur à 1,2 fois la valeur du courant de réglage du relais ou du déclencheur électronique de surcharge sensible au blocage, pendant le fonctionnement après l'achèvement du démarrage.

8.2.1.6 Appareils mécaniques de connexion utilisés dans les gradateurs et les démarreurs à semiconducteurs de moteurs

Les appareils de connexion doivent être vérifiés en tant que pièces du gradateur ou démarreur à semiconducteurs de moteurs. L'essai de fermeture et de coupure selon 8.2.4.2 n'a pas besoin d'être effectué lorsque l'appareil mécanique de connexion est interverrouillé de telle manière qu'il n'est pas exigé qu'il soit sollicité pour établir ou couper des courants de surcharge sans l'intervention directe de l'appareil de connexion à semiconducteurs. Par conséquent, l'appareil de connexion à semiconducteurs doit 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 allant jusqu'aux courants de surcharge (inclus).

8.2.2 Echauffement

8.2.2.1 Généralités

Les exigences de 8.2.2 de l'IEC 60947-1:2020 s'appliquent aux gradateurs et aux démarreurs à l'état neuf et propre.

Lorsque l'essai est réalisé à une tension inférieure à 100 V, il est admis de nettoyer les contacts des appareils mécaniques de connexion soit par une méthode non abrasive, soit en réalisant des cycles de manœuvres avec ou sans charge, plusieurs fois avant de commencer l'essai à une tension quelconque.

NOTE La résistance de contact due à l'oxydation peut influencer l'essai d'échauffement à des tensions d'essai inférieures à 100 V.

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, l'installateur est responsable du choix de la protection et de l'emplacement pour prévenir les dangers. Le fabricant doit fournir un avertissement approprié (par exemple le symbole IEC 60417-5041:2002), conformément à 6.3.

8.2.2.2 Bornes

Le paragraphe 8.2.2.2 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

8.2.2.3 Parties accessibles

Le paragraphe 8.2.2.3 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

8.2.2.4 Température de l'air ambiant

Le paragraphe 8.2.2.4 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

8.2.2.5 Circuit principal

8.2.2.5.1 Généralités

Le circuit principal d'un gradateur ou d'un démarreur parcouru par du courant à l'état de pleine conduction, y compris les déclencheurs à maximum de courant pouvant lui être associés, doit pouvoir supporter le courant I_e sans dépasser les limites d'échauffement spécifiées en 8.2.2.2 de l'IEC 60947-1:2020, lorsqu'il est soumis à essai conformément à 9.3.3.3.4.

8.2.2.5.2 Appareils mécaniques de connexion dans les gradateurs et les démarreurs

L'échauffement doit être vérifié par les procédures données en 9.3.3.3.4 et 9.3.3.6.1 (Tableau 10 et Tableau 14 compris). L'appareil doit être soumis à essai comme partie intégrante de l'ensemble avec une séquence de manœuvres identique à celle prévue en service normal.

8.2.2.5.3 Appareils à semiconducteurs connectés dans le circuit principal

L'échauffement des appareils à semiconducteurs connectés dans le circuit principal doit être vérifié selon les procédures données en 9.3.3.3.4 et en 9.3.3.6.1 (essai de stabilité thermique).

8.2.2.6 Circuits de commande

Le paragraphe 8.2.2.6 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

8.2.2.7 Enroulements des bobines et des électroaimants

Le paragraphe 8.2.2.7 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique. Les limites d'échauffement pour les bobines isolées dans l'air et dans l'huile sont indiquées dans le Tableau 6.

Tableau 6 – 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	–

8.2.2.8 Circuits auxiliaires

Le paragraphe 8.2.2.8 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

8.2.2.9 Autres parties

Le paragraphe 8.2.2.1 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

8.2.3 Propriétés diélectriques

8.2.3.1 Généralités

Les exigences suivantes sont basées sur le principe de la série IEC 60664 et fournissent les moyens pour assurer la coordination de l'isolement du matériel avec les conditions d'installation.

Le matériel doit pouvoir supporter:

- la tension assignée de tenue aux chocs (voir 5.3.1.3) correspondant à la catégorie de surtension figurant à l'Annexe H de l'IEC 60947-1:2020;
- la tension de tenue aux chocs à travers les contacts ouverts des matériels aptes au sectionnement, comme indiqué dans le Tableau 14 de l'IEC 60947-1:2020;
- 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 attendue de la tension d'essai alternative de crête.

NOTE 2 La corrélation entre la tension nominale du réseau d'alimentation et la tension assignée de tenue aux chocs du matériel est donnée à l'Annexe H de l'IEC 60947-1:2020.

La tension assignée de tenue aux chocs pour une valeur donnée de la tension assignée d'emploi (voir Notes 1 et 2 de 5.3.1.1 de l'IEC 60947-1:2020) ne doit pas être inférieure à celle qui correspond à l'Annexe H de l'IEC 60947-1:2020 à la tension nominale et à la catégorie de surtension appropriée du réseau d'alimentation du circuit à l'endroit où le matériel est destiné à être utilisé.

Les exigences du présent paragraphe doivent être vérifiées par les essais de 9.3.3.4.

8.2.3.2 Tension de tenue aux chocs

1) Circuit principal

Le paragraphe 8.2.3.2 1) de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

2) Circuits de commande et auxiliaires

Le paragraphe 8.2.3.2 2) de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec l'alinéa 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 dans le Tableau 12 de l'IEC 60947-1:2020, en fonction de la tension assignée de tenue aux chocs.

8.2.3.3 Tension de tenue à la fréquence industrielle des circuits principaux, auxiliaires et de commande

Le paragraphe 8.2.3.3 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

8.2.3.4 Distances d'isolement

Le paragraphe 8.2.3.4 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

8.2.3.5 Lignes de fuite

Le paragraphe 8.2.3.5 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

8.2.3.6 Isolation solide

Le paragraphe 8.2.3.6 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

8.2.3.7 Espacements entre circuits distincts

Le paragraphe 8.2.3.7 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

8.2.4 Exigences de fonctionnement dans des conditions normales de charge et dans des conditions de surcharge

8.2.4.1 Exigences d'aptitude au fonctionnement

Il doit être exigé des gradateurs et démarreurs qu'ils établissent l'état passant, qu'ils commutent, qu'ils supportent les niveaux définis de courants de surcharge et qu'ils établissent et maintiennent l'état non passant sans défaillance ou sans défaut quelconque, lorsqu'ils sont soumis à essai conformément à 9.3.3.6.

Pour les gradateurs conçus pour les catégories d'emploi AC-2a, AC-3a, AC-8a, les valeurs de T_x en fonction des valeurs de X ne doivent pas être inférieures à celles données dans le Tableau 7. Pour les démarreurs correspondants, T_x doit être le temps maximal de déclenchement de son relais de surcharge à l'état chaud, déclaré par le fabricant (voir également la Note de bas de tableau ^b du Tableau 8).

Les gradateurs et démarreurs prévus pour les catégories d'emploi AC-2b, AC-3b et AC-8b peuvent être prévus pour des utilisations pour lesquelles de longues durées d'accélération sont exigées. Il doit être admis que la capacité thermique maximale du gradateur puisse être complètement atteinte pendant la durée en charge. C'est pourquoi une durée hors charge suffisante du gradateur doit être prévue juste après la fin de la période de démarrage. Les valeurs de T_x correspondant aux valeurs de X ne doivent pas être inférieures à celles données dans le Tableau 7. Pour les démarreurs correspondants, T_x doit être le temps de déclenchement maximal de son propre relais de surcharge (voir également la Note de bas de tableau ^b du Tableau 8).

S'il apparaît une situation de rotor bloqué, alors que le moteur fonctionnait jusque-là à sa vitesse normale, le gradateur ou le démarreur doit pouvoir établir un état non passant dans des temps plus courts que ceux donnés, pourvu qu'il soit équipé d'une protection convenable contre les surcharges.

Les caractéristiques assignées doivent être vérifiées selon les conditions données dans le Tableau 8, le Tableau 9 et le Tableau 10 du présent document, et dans les parties correspondantes de 9.3.3.5.2 et 9.3.3.5.3 de l'IEC 60947-1:2020.

Les exigences relatives au courant d'appel plus élevé pour les gradateurs ou démarreurs à semiconducteurs de moteurs à démarrage direct sont à l'étude.

NOTE Un démarrage avec un courant à rotor bloqué plus élevé afin d'obtenir un moteur à classe de rendement élevée conformément à l'IEC 60034-30-1, peut permettre d'atteindre un courant d'appel supérieur à $8 \times I_e$ donné dans le Tableau 9, qui peut par exemple être géré par une fonction de limitation du courant d'appel ou un pouvoir de fermeture plus élevé du gradateur à semiconducteurs.

Lorsque $X \times I_e$ est supérieur à 1 000 A, la méthode de vérification de l'aptitude en surcharge doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur (par exemple par une simulation informatique).

Dans le Tableau 8 et le Tableau 10, il convient que la durée à l'état passant et la durée à l'état non passant soient conformes au Tableau 2 pour la séquence de cycle de service la plus sévère. Si une caractéristique assignée a été attribuée après essais à un gradateur pour un cycle de service plus sévère que la séquence de cycle de service normale, le fabricant peut, sans autre essai, attribuer la même caractéristique assignée pour une séquence de cycle de service normale.

Tableau 7 – Durée minimale (T_x) de tenue au courant de surcharge en fonction du rapport (X) du courant de surcharge et de la classe correspondante de déclenchement du relais de surcharge (voir Tableau 3)

Désignation ^a (seulement donnée comme guide)	Durée minimale T_x de tenue au courant de surcharge s						
	$X = 8$	$X = 7$	$X = 6$	$X = 5$	$X = 4$	$X = 3$	$X = 2$
2	0,7	0,9	1,2	1,8	2,7	5	11
3	1	1,3	1,8	2,6	4	7	16
5	1,2	1,5	2	3	4,6	8,3	19
10A	1,6	2	3	4	6	12	26
10	3	4	6	8	13	23	52
20	5	6	9	12	19	35	78
30	7	9	13	19	29	52	112
40	11	15	20	29	45	80	180
^a Les désignations sont fournies pour information uniquement sans aucun lien direct avec le Tableau 3.							

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60947-4-2:2020

Tableau 8 – Exigences minimales pour les conditions d'essai de stabilité thermique

Catégorie d'emploi	Fonction de limitation de courant	Courant d'essai (I_T)				Durée à l'état non passant du cycle de manœuvres
		Durée à l'état passant du cycle de manœuvres s				
		Niveau d'essai 1 ^a		Niveau d'essai 2 ^a		
		I_T	Durée à l'état passant ^b	I_T	Durée à l'état passant ^b	
AC-2a, AC-3a, AC-8a	Oui	I_{lim}^d	t	I_e	(36*F/S)-t	36*(100-F)/S
	Non	$0,75 * I_{LRP}$				
	Non (DOL)	I_{LRP}				
AC-2b, AC-3b, AC-8b	Oui	I_{lim}^d	t	Non applicable	Non applicable	(3 600/S)-t
	Non	$0,75 * I_{LRP}$				
	Non (DOL)	I_{LRP}				

Paramètres du circuit d'essai:

I_{LRP} = courant présumé à rotor bloqué selon le Tableau 9.

I_e = courant assigné d'emploi

I_{lim} = courant de réglage de la fonction de limitation de courant

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 ^c

^a Le temps de commutation du niveau 1 au niveau 2 ne doit pas être supérieur à trois périodes pleines de la fréquence industrielle. Le courant au cours du niveau 1 doit être véhiculé par le semiconducteur uniquement.

^b Pour un démarreur ou un gradateur à semiconducteurs de moteurs destiné à être utilisé uniquement avec un relais de surcharge spécifié, t est la durée maximale de fonctionnement admise par les tolérances de son relais de surcharge, à l'état chaud. Pour un gradateur à semiconducteurs de moteurs sans relais de surcharge spécifié, t = T_x est sélectionné à partir du Tableau 7 selon $X = I_T/I_e$ et la classe de déclenchement de surcharge déclarée.

^c Le nombre de cycles de manœuvres dépend de la durée exigée pour que le gradateur atteigne l'équilibre thermique.

^d I_{lim} est la valeur de limitation* de courant déclarée par le fabricant conformément au profil de courant de surcharge selon 5.3.5.2.

Tableau 9 – Courant présumé à rotor bloqué par catégories d'emploi

Catégorie d'emploi	I_{LRP}
AC-2a	$4 \times I_e$
AC-2b	
AC-3a	$8 \times I_e$
AC-3b	
AC-8a	$6 \times I_e$
AC-8b	

Tableau 10 – Exigences minimales pour les conditions d'essai d'aptitude en surcharge

Catégorie d'emploi	Paramètres du circuit d'essai			Durée à l'état passant du cycle de manœuvres s	Durée à l'état non passant du cycle de manœuvres s	Nombre de cycles de manœuvres ^g
	$I_T^{h, f}$	U_r / U_e^a	$\cos \varphi^b$			
AC-2a	$I_{LRP}^{g, e}$	1,05	0,65	t^c	$\leq (3\,600/S)-t$	3 ou 4
AC-3a			d			
AC-8a			d			
AC-2b	$I_{LRP}^{g, e}$	1,05	0,65	t^c	$\leq (3\,600/S)-t^i$	3
AC-3b			d			
AC-8b			d			

I_{LRP} courant présumé à rotor bloqué

I_e courant assigné d'emploi

I_T courant d'essai

U_e tension assignée d'emploi

U_r tension de rétablissement à fréquence industrielle

Conditions de température: 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 (voir 9.3.3.3). Pendant l'essai, la température de l'air ambiant doit être comprise entre +10 °C et +40 °C.

^a $U_r / U_e = 1,05$ pour les trois dernières périodes complètes de la fréquence industrielle à l'état passant, plus la première seconde à l'état non passant (durée sous la pleine tension). U_r / U_e peut avoir n'importe quelle valeur en dehors de la durée sous la pleine tension (durée sous tension réduite).

^b Les caractéristiques du circuit ($\cos \varphi$ et valeur du courant maximal possible) sont obligatoires pendant la durée sous la pleine tension. Pendant la durée sous tension réduite, les caractéristiques du circuit ne sont pas obligatoires, pourvu que le circuit de charge permette un courant supérieur à I_T .

^c Pour un gradateur à semiconducteurs de moteurs destiné à être utilisé uniquement avec un relais de surcharge ou un démarreur spécifié, t est la durée de fonctionnement maximale admise par les tolérances de son relais de surcharge à l'état chaud qui est l'état d'équilibre thermique atteint pendant l'essai d'échauffement (voir 9.3.3.3).

Pour un gradateur à semiconducteurs de moteurs destiné à être utilisé sans relais de surcharge spécifié, $t = T_x$ est sélectionné à partir du Tableau 7 selon $X = I_T / I_e$ et la classe de déclenchement de surcharge déclarée.

^d Pour $I_e \leq 100$ A: $\cos \varphi = 0,45$; pour $I_e > 100$ A: $\cos \varphi = 0,35$.

^e I_{LRP} peut être limité par le matériel soumis à essai.

^f En cas de fonction de limitation de courant, voir 9.3.3.6.3 (3) e).

^g Voir Tableau 9.

^h En cas de trois cycles de manœuvres, le courant doit être véhiculé par le semiconducteur uniquement. En cas de quatre cycles de manœuvres, le courant doit être véhiculé par le semiconducteur uniquement lors des deux premiers cycles de manœuvres. Lors des deux derniers cycles de manœuvres, le courant doit être véhiculé par l'appareil véhiculant normalement le courant à pleine conduction.

ⁱ Pour les catégories d'emploi AC-2b, AC-3b, AC-8b, le fabricant peut déclarer une capacité à effectuer des services de démarrage avec des durées à l'état non passant inférieures à 1 440 s. Cependant, cela doit être vérifié au cours des essais avec les durées à l'état non passant déclarées par le fabricant.

8.2.4.2 Pouvoirs de fermeture et de coupure des appareils dans le circuit principal

8.2.4.2.1 Généralités

Le gradateur ou démarreur, y compris les déclencheurs à maximum de courant et les appareils mécaniques de connexion qui lui sont associés, doivent pouvoir fonctionner sans défaillance en présence d'un courant correspondant à un moteur à rotor bloqué, courant de démarrage et courant de surcharge.

L'aptitude à établir et couper des courants sans défaillance doit être vérifiée dans les conditions spécifiées à la fois dans le Tableau 11 et le Tableau 12, pour les catégories d'emploi exigées et le nombre de cycles de manœuvres indiqués.

8.2.4.2.2 Appareils mécaniques de connexion des gradateurs et démarreurs

Les pouvoirs de fermeture et de coupure doivent être vérifiés lorsqu'ils sont soumis à essai comme un appareil combiné, selon les procédures décrites en 9.3.3.5.1 et 9.3.3.5.2.

8.2.4.2.3 Appareils de commutation à semiconducteurs

L'aptitude à commander les courants de surcharge doit être vérifiée selon les procédures décrites en 9.3.3.6.2 et 9.3.3.6.3.

8.2.4.3 Exigences pour une charge d'essai constituée d'un moteur à induction

Le moteur à induction doit être un moteur à cage d'écureuil à quatre pôles ayant les caractéristiques suivantes:

- la tension assignée du moteur doit être supérieure ou égale à U_e de l'appareil à soumettre à essai;
- lorsque le moteur est en marche, le courant d'essai qui traverse le moteur et le gradateur peut avoir n'importe quelle valeur supérieure à 1 A;
- le facteur de puissance du moteur peut avoir n'importe quelle valeur;
- les connexions internes du bobinage du moteur peuvent avoir n'importe quelle configuration (par exemple étoile, triangle);
- les paramètres de la charge mécanique appliquée sur l'arbre du moteur doivent être réglés afin de produire un temps de décélération entre la vitesse de base et la vitesse nulle compris entre 2 s et 4 s.

Tableau 11 – Essai de fermeture et de coupure; conditions d'établissement et de coupure selon les catégories d'emploi pour les appareils mécaniques de connexion

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 non passant s	Nombre de cycles de manœuvres
AC-2a, b	4,0	1,05	0,65	0,05	b	50
AC-3a, b	8,0		a			
AC-8a, b	6,0		a			
I_c = courant établi et coupé, exprimé en courant alternatif, valeur efficace symétrique			Courant I_c A		Durée à l'état non passant s	
I_e = courant assigné d'emploi			$I_c \leq 100$		10	
U_e = tension assignée d'emploi			$100 < I_c \leq 200$		20	
U_r = tension de rétablissement à fréquence industrielle			$200 < I_c \leq 300$		30	
a Pour $I_e \leq 100$ A: Cos φ = 0,45			$300 < I_c \leq 400$		40	
Pour $I_e > 100$ A: Cos φ = 0,35			$400 < I_c \leq 600$		60	
b La durée à l'état non passant ne doit pas être supérieure aux valeurs du tableau ci-contre.			$600 < I_c \leq 800$		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 12 – Essai de fonctionnement conventionnel d'établissement et de coupure en service, selon les catégories d'emploi pour les appareils mécaniques de connexion

Catégorie d'emploi	Conditions d'établissement et de coupure					
	I_c/I_e	U_r/U_e	$\cos \varphi$	Durée à l'état passant s	Durée à l'état non passant s	Nombre de cycles de manœuvres
AC-2a, b	2,0	1,05	0,65	0,05	b	6 000
AC-3a, b	2,0	1,05	a			
AC-8a, b	6,0	1,05	0,35	1 10	9 90	5 900 100
I_c = courant établi et coupé, exprimé en courant alternatif, valeur efficace symétrique I_e = courant assigné d'emploi U_e = tension assignée d'emploi U_r = tension de rétablissement à fréquence industrielle						
a Pour $I_e \leq 100$ A: $\cos \varphi = 0,45$ Pour $I_e > 100$ A: $\cos \varphi = 0,35$						
b La durée à l'état non passant ne doit pas être supérieure aux valeurs du Tableau 11.						

8.2.4.4 Puissance dissipée du gradateur à semiconducteurs de moteurs

Lorsque la puissance dissipée du gradateur ou démarreur à semiconducteurs de moteurs est donnée, la puissance dissipée des semiconducteurs doit être calculée selon 5.3.7.1 et les pertes de l'appareil de commande à semiconducteurs doivent être mesurées selon 9.3.3.2.

8.2.5 Coordination avec les dispositifs de protection contre les courts-circuits

8.2.5.1 Fonctionnement en court-circuit

Le courant conditionnel de court-circuit assigné des gradateurs et démarreurs 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 à la catégorie d'emploi correspondante.

Le DPCC peut être intégré au sein du gradateur ou du démarreur à semiconducteurs.

Deux types de coordinations sont admis, le type 1 ou le type 2. Les conditions d'essais sont données en 9.3.4.3.

La coordination de type 1 exige qu'en condition de court-circuit, l'appareil ne doit pas occasionner de danger aux personnes ou aux installations, et admet que l'appareil puisse ne pas être en mesure de fonctionner ensuite sans réparation ou remplacement de pièces.

La coordination de type 2 exige qu'en condition de court-circuit, l'appareil ne doit pas occasionner de danger aux personnes ou aux installations et il doit être en mesure de fonctionner ensuite. Pour l'appareil mécanique de connexion des gradateurs et des démarreurs, le risque de soudure des contacts est admis; dans ce cas, le fabricant doit indiquer les mesures à prendre pour la maintenance du matériel.

NOTE L'emploi d'un DPCC non conforme aux recommandations du fabricant peut compromettre la coordination.

8.2.5.2 Coordination au courant d'intersection entre le démarreur et le DPCC

Le fabricant doit décrire la continuité de la coordination en court-circuit entre les fonctions de protection jusqu'à son courant conditionnel de court-circuit assigné. (DPCC, protection de surcharge, autres protections internes, contacteur de phase, contacteur de dérivation, etc.).

8.3 Exigences concernant la CEM

8.3.1 Généralités

Le paragraphe 8.3.1 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec l'ajout suivant.

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 de CEM, le système minimal à considérer est constitué du gradateur interconnecté avec une charge constituée d'un moteur et des câbles.

8.3.2 Immunité

8.3.2.1 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 ou démarreur. Des perturbations non destructrices peuvent créer des dysfonctionnements temporaires ou des fonctionnements anormaux, mais le gradateur ou démarreur revient au fonctionnement normal après que la perturbation a été réduite le plus possible ou supprimée; dans certains cas, cela peut exiger une intervention manuelle.

Il convient de consulter le fabricant dans les cas où de sévères perturbations extérieures peuvent survenir, lorsqu'elles sont supérieures aux niveaux auxquels le gradateur ou démarreur a été soumis à essai, par exemple installations à proximité de télécommandes à distance avec de longs câbles de puissance, proximité immédiate d'appareils ISM définis par la CISPR 11.

NOTE L'utilisation soignée de méthodes de découplage pendant l'installation aide à réduire le plus possible l'influence des perturbations transitoires extérieures. Par exemple, le câblage du circuit de commande est séparé du câblage du circuit de puissance. Lorsque des couplages de câblage par proximité ne peuvent être évités, des câbles tressés ou blindés sont utilisés pour les connexions du circuit de commande.

Un certain nombre d'exigences sont détaillées. Les résultats d'essai sont précisés à l'aide des critères d'aptitude à la fonction de la série IEC 61000-4. Par commodité, les critères d'aptitude à la fonction sont rappelés ici et décrits avec plus de détails spécifiques dans le Tableau 13.

Ces critères sont les suivants:

- 1) fonctionnement normal dans les limites spécifiées;
- 2) dégradation ou perte de fonction temporaire qui est autorécupérable;
- 3) dégradation ou perte de fonction temporaire exigeant 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 résultats d'essai sont précisés à l'aide des critères d'aptitude à la fonction indiqués dans le Tableau 13.

Tableau 13 – Critères d'aptitude à la fonction spécifiques en présence de perturbations électromagnétiques

Point	Critères d'aptitude à la fonction (comportement durant les essais)		
	1	2	3
A Comportement général	Pas de changements décelables des caractéristiques de fonctionnement. Fonctionnement comme prévu.	Changements notables (visuels ou audibles) des caractéristiques de fonctionnement. Autorécupérable.	Changements des caractéristiques de fonctionnement. Déclenchement des dispositifs de protection. Non autorécupérable.
B Fonctionnement des circuits de puissance et de commande	Pas de dysfonctionnement.	Dysfonctionnement temporaire sans déclenchement ou changement erratique ou audible du couple moteur.	Arrêt. Déclenchement des dispositifs de protection. Non autorécupérable.
C Fonctionnement des afficheurs et panneaux de commande	Pas de changement au niveau des informations visibles sur l'affichage. Seulement une légère fluctuation de l'intensité lumineuse des DEL ou un léger mouvement des caractères.	Changements visibles temporaires ou perte d'informations. Illumination non désirée d'une diode électroluminescente (LED)	Arrêt. Perte d'affichage permanent ou affichage d'informations erronées. Mode de fonctionnement non autorisé. Non autorécupérable.
D Traitement de l'information et fonctions 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 des informations. Pertes de données et/ou d'informations. Erreurs dans la communication. Non autorécupérable.

8.3.2.2 Décharge électrostatique

Les valeurs et procédures d'essai sont données en 9.4.2.1.

8.3.2.3 Champ électromagnétique à fréquences radioélectriques

Les valeurs et procédures d'essai sont données en 9.4.2.2.

8.3.2.4 Transitoires rapides (mode commun) (5/50 ns)

Les valeurs et procédures d'essai sont données en 9.4.2.3.

8.3.2.5 Ondes de choc (1,2/50/μs-8/20/μs)

Les valeurs et procédures d'essai sont données en 9.4.2.4.

8.3.2.6 Harmoniques et encoches de commutation

Les valeurs et procédures d'essai sont données en 9.4.2.5.

8.3.2.7 Creux de tension et coupures brèves

Les valeurs et procédures d'essai sont données en 9.4.2.6.

8.3.2.8 Champs magnétiques à fréquence industrielle

Les essais ne sont pas exigés. Les essais satisfaisants d'aptitude au fonctionnement (voir 9.3.3.6) démontrent l'immunité.

8.3.3 Emissions

8.3.3.1 Généralités

Le paragraphe 8.3.3 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec l'ajout suivant.

8.3.3.2 Emissions basse fréquence relatives à la fréquence du réseau principal

8.3.3.2.1 Harmoniques

Les appareils destinés à être connectés à des réseaux publics d'alimentation basse tension et qui peuvent fonctionner en continu dans un état autre que l'état de pleine conduction doivent être conformes, le cas échéant, à l'IEC 61000-3-2 pour une caractéristique assignée inférieure ou égale à 16 A par phase, et à l'IEC 61000-3-12 pour une caractéristique assignée supérieure à 16 A et inférieure ou égale à 75 A.

8.3.3.2.2 Variation de tension

Les appareils destinés à être connectés à des réseaux publics d'alimentation basse tension et qui peuvent fonctionner en continu dans un état autre que l'état de pleine conduction doivent être conformes, le cas échéant, à l'IEC 61000-3-3 pour une caractéristique assignée inférieure ou égale à 16 A par phase, et à l'IEC 61000-3-11 pour une caractéristique assignée inférieure ou égale à 75 A.

8.3.3.3 Emissions haute fréquence

8.3.3.3.1 Emissions radiofréquence (RF) conduites

Les limites données dans le Tableau 17 doivent être vérifiées en accord avec les procédures de 9.4.3.2.

8.3.3.3.2 Emissions rayonnées

Les limites données dans le Tableau 18 doivent être vérifiées en accord avec les procédures de 9.4.3.3.

9 Essais

9.1 Nature des essais

9.1.1 Généralités

Le paragraphe 9.1.1 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

9.1.2 Essais de type

Les essais de type sont destinés à vérifier la conformité au présent document de la conception des gradateurs et des démarreurs de tous les types et de leurs accessoires de câblage dédiés. Ils comprennent les vérifications suivantes:

- a) limites d'échauffement (9.3.3.3);
- b) propriétés diélectriques (9.3.3.4);
- c) aptitude au fonctionnement (9.3.3.6);
- d) fonctionnement et limites de fonctionnement (9.3.3.6.3);

- e) pouvoirs assignés de fermeture et de coupure ainsi que fonctionnement conventionnel en service des appareils mécaniques de connexion en série avec les matériels (9.3.3.5);
- f) fonctionnement dans des conditions de court-circuit (9.3.4);
- g) propriétés mécaniques des bornes (le paragraphe 9.2.5 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique);
- h) degrés de protection des gradateurs et des démarreurs sous enveloppe (l'Annexe C de l'IEC 60947-1:2020 s'applique);
- i) essais CEM (9.4).

9.1.3 Essais individuels de série

Le paragraphe 9.1.3 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique lorsque les essais d'échantillonnage (9.1.4) ne sont pas réalisés.

Les essais individuels de série des gradateurs et des démarreurs portent sur:

- le fonctionnement et les limites de fonctionnement (9.5.2);
- les essais diélectriques (9.5.3).

Pour les accessoires de câblage dédiés fournis séparément, seul l'essai diélectrique s'applique.

9.1.4 Essais d'échantillonnage

Les essais d'échantillonnage des gradateurs et démarreurs portent sur:

- le fonctionnement et les limites de fonctionnement (9.5.2);
- les essais diélectriques (9.5.3).

Le paragraphe 9.1.4 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec l'ajout suivant:

Un fabricant peut utiliser, s'il le souhaite, les essais d'échantillonnage à la place des essais individuels de série. L'échantillonnage doit satisfaire aux exigences suivantes, indiquées dans le Tableau 2-A de l'ISO 2859-1:1999.

L'échantillonnage est basé sur un NQA ≤ 1 :

- critère d'acceptation $A_c = 0$ (aucun défaut accepté);
- critère de rejet $R_e = 1$ (pour 1 défaut, tout le lot doit être soumis à essai).

Le prélèvement doit être effectué à intervalles réguliers pour chaque lot individualisé.

D'autres méthodes statistiques satisfaisant aux exigences ci-dessus de l'ISO 2859-1 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 capacité.

Les essais d'échantillonnage pour la vérification des distances d'isolement conformément à 9.3.3.4.3 de l'IEC 60947-1:2020 sont à l'étude.

9.1.5 Essais spéciaux

9.1.5.1 Généralités

La réalisation d'essais spéciaux est laissée à la discrétion du fabricant.

Les essais spéciaux comprennent:

- les essais d'environnement selon 9.1.5.2;
- la vérification de la coordination entre le démarreur et le DPCC selon 9.1.5.3.

9.1.5.2 Essais d'environnement

Pour ces essais spéciaux, l'Annexe Q de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

Lorsque le Tableau Q.1 de l'IEC 60947-1:2020 exige une vérification de l'aptitude au fonctionnement, celle-ci doit être effectuée selon 9.5.2 du présent document.

Les essais aux vibrations doivent être réalisés sur le matériel avec l'appareil mécanique de connexion aux positions d'ouverture ou de fermeture, le cas échéant. Le relais de surcharge ne doit pas se déclencher durant l'essai. Pour vérifier le comportement des contacts principaux et auxiliaires, les essais peuvent être réalisés avec n'importe quelle valeur de courant/tension.

L'essai aux chocs sur le matériel doit être réalisé en position d'ouverture.

Pour l'essai à la chaleur sèche, l'appareil mécanique de connexion doit être en position de fermeture durant la période de conditionnement (voir 5.3.3 de l'IEC 60068-2-2:2007). Pour les catégories A, B et C, l'essai peut être réalisé sans courant aux pôles et pour les catégories D, E et F, l'essai doit être réalisé avec le courant assigné maximal AC-3, mais il peut être limité à 100 A pour des raisons pratiques. Au cours de la dernière heure, le gradateur doit être manœuvré 5 fois. Le déclenchement du relais de surcharge est admis durant l'essai.

Pour l'essai à basse température, l'essai *Ad* est à choisir à la place de l'essai *Ab* et l'appareil mécanique de connexion doit être en position d'ouverture au cours de la période de refroidissement. Il doit être alimenté durant la dernière heure. Pour les catégories A, B et C, l'essai peut être réalisé sans courant aux pôles et pour les catégories D, E et F, l'essai est réalisé avec le courant assigné maximal AC-3 et peut être limité à 100 A pour des raisons pratiques. Au cours de la dernière heure, le gradateur doit être manœuvré 5 fois. Le relais de surcharge ne doit pas se déclencher durant l'essai.

Pour l'essai à la chaleur humide, l'essai peut être réalisé sans courant aux pôles pour les catégories A, B et C. Pour les catégories D, E et F, le matériel doit être alimenté avec un courant assigné maximal AC-3 pour le premier cycle, puis mis hors circuit pour le deuxième cycle. Le courant peut être limité à 100 A pour des raisons pratiques. Une fois la température stabilisée, au cours des 2 premières heures du premier cycle et au cours des 2 dernières heures du deuxième cycle, le gradateur doit être manœuvré 5 fois. Le relais de surcharge peut uniquement se déclencher si cela est admis selon les caractéristiques de température.

Avec l'accord du fabricant, la durée des périodes de rétablissement peut être réduite.

Une fois l'essai au brouillard salin réalisé, le produit peut être rincé sous réserve d'accord du fabricant.

9.1.5.3 Coordination entre le démarreur et le DPCC

La vérification de la coordination en court-circuit entre les différentes protections contre les surintensités jusqu'au courant conditionnel de court-circuit assigné doit être démontrée par documentation, simulation ou essai (voir Annexe C).

9.2 Conformité aux exigences relatives à la construction

9.2.1 Généralités

Le paragraphe 9.2 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique avec les ajouts suivants.

9.2.2 Performance électrique des organes de serrage sans vis

Le paragraphe 9.2.5.7 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec les ajouts suivants.

L'insertion et la déconnexion des conducteurs doivent être effectuées conformément aux instructions du fabricant.

Les méthodes de mesure et les résultats doivent être documentés dans le rapport d'essai. Le courant d'essai est I_{th} .

NOTE L'échantillon du dispositif peut être fourni avec des trous ou des dispositions équivalentes fournissant des points d'accès de mesure pour la chute de tension sur la borne.

9.2.3 Essai de vieillissement des organes de serrage sans vis

Le paragraphe 9.2.5.8 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec la modification suivante:

L'essai doit être réalisé sur le dispositif équipé d'organes de serrage.

Le courant d'essai est I_{th} .

NOTE L'échantillon du dispositif peut être fourni avec des trous ou des dispositions équivalentes fournissant des points d'accès de mesure pour la chute de tension sur la borne.

9.2.4 Essai de source d'énergie limitée

Un circuit à source d'énergie limitée doit être soumis à essai comme suit, avec le matériel placé dans des conditions normales de fonctionnement.

Si l'exigence de la source d'énergie limitée dépend du ou des dispositifs de protection contre les surintensités, ceux-ci doivent être placés en court-circuit.

Avec le matériel placé dans des conditions normales de fonctionnement, une charge résistive variable est connectée aux pièces à l'étude et ajustée pour obtenir le niveau exigé de puissance apparente limitée (VA). Si nécessaire, des ajustements supplémentaires sont effectués pour maintenir la puissance apparente limitée (VA) pendant une période spécifiée en 8.1.14.

Une charge résistive variable est connectée au circuit à l'étude et ajustée pour obtenir la limite de puissance apparente comme indiqué dans le Tableau 19, le Tableau 20, ou le Tableau 21, le cas échéant. Si nécessaire, des ajustements supplémentaires sont effectués pour maintenir la limite d'énergie apparente pendant la période spécifiée dans le Tableau 19, le Tableau 20, ou le Tableau 21, le cas échéant.

Si la puissance apparente disponible ne dépasse pas les limites indiquées dans le Tableau 19, le Tableau 20, ou le Tableau 21, le cas échéant, après la période d'essai, l'essai est réussi.

Si l'exigence de la source d'énergie limitée dépend du ou des dispositifs de protection contre les surintensités, le courant assigné d'au moins l'un des dispositifs de protection dans la voie de passage de courant ne doit pas dépasser la limite indiquée dans le Tableau 20.

Ces essais doivent être réalisés avec la combinaison la plus défavorable admise par les spécifications des paramètres de fonctionnement du fabricant, comme indiqué en 5.5.

9.2.5 Défaillance des composants

9.2.5.1 Généralités

La défaillance d'un composant, identifiée comme un résultat de l'analyse des circuits en 8.1.16, doit être soumise à essai en faisant fonctionner le produit avec la charge créant la condition la plus sévère.

NOTE Comme indiqué en 8.1.16, cet essai est destiné à vérifier qu'il n'entraîne pas de situation dangereuse; il n'est cependant pas destiné à vérifier la continuité de la fonction du matériel.

L'essai n'est pas exigé:

- lorsque l'analyse des circuits indique qu'aucun autre composant ou aucune autre partie du circuit ne sera surchargé à la suite d'une défaillance de circuit ouvert ou de court-circuit d'un autre composant;
- pour les composants de circuits alimentés par des sources d'énergie limitée selon 8.1.14;
- sur les appareils à semiconducteurs lorsqu'une mise à l'essai équivalente est accomplie au cours des essais de court-circuit;
- pour les composants ayant été évalués positivement précédemment en considérant les modes de défaillance et les conditions de circuit avec lesquelles le composant est utilisé au sein du dispositif.

9.2.5.2 Essai de défaillance de composants

Chaque composant identifié doit faire l'objet d'un essai de défaillance de composants dans les modes de défaillance de court-circuit et/ou de circuit ouvert, selon celle qui génère la condition la plus sévère.

L'essai de défaillance de composants ne peut être réalisé que sur les circuits du dispositif pouvant affecter le résultat de l'essai, pleinement alimentés et en fonctionnement.

Il ne doit se produire aucune émission de flamme, de métal en fusion ou d'inflammation de coton au cours de l'essai. L'élément fusible ne doit pas être ouvert.

Les composants, tels que les condensateurs ou les diodes, sont en condition de circuit ouvert ou de court-circuit. Pour un dispositif sans enveloppe dédiée, une enveloppe externe métallique ou une cage en treillis métallique (avec du coton entourant la cage) ayant 1,5 fois la taille du dispositif (ou une taille différente, selon les déclarations du fabricant) doit être fournie afin de simuler les parties possiblement reliées à la terre autour du dispositif. En cas d'enveloppe dédiée, du coton doit être placé devant toutes les ouvertures. L'enveloppe externe métallique ou la cage en treillis métallique (lorsqu'elle est fournie) ainsi que toute pièce métallique reliée à la terre ou exposée doivent être reliées par un élément fusible F, conformément à 9.3.4.1.2 d), de l'IEC 60947-1:2020, au circuit d'alimentation.

NOTE La définition du matériel sous enveloppe est indiquée à l'Annexe C de l'IEC 60947-1:2020.

9.2.6 Essai de flexion du câblage

Le câblage de composants montés sur une porte ou un capot, conformément aux exigences de 8.1.3, est à soumettre à essai par ouverture de la porte ou du capot, selon le rayon d'ouverture maximal (les dispositifs de retenue tels qu'une chaîne sont à laisser en place), puis fermeture de la porte ou du capot, ce cycle de manœuvres étant à répéter 500 fois. Après cet essai, le matériel est à soumettre à l'essai de tension de tenue diélectrique décrit en 9.3.3.4.1, la tension étant appliquée entre les conducteurs, et entre les conducteurs et la terre.

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.

Pour la commodité des essais et avec l'accord du fabricant, ces essais peuvent être réalisés sur des échantillons neufs séparés et omis dans la séquence correspondante.

Cela ne s'applique que pour les essais suivants sur demande:

- 9.3.3.4.1 alinéa 7) de l'IEC 60947-1:2020: Vérification des lignes de fuite;
- 9.2.5 de l'IEC 60947-1:2020: Propriétés mécaniques des bornes;
- Annexe C de l'IEC 60947-1:2020: Degrés de protection des matériels sous enveloppe.

Les séquences d'essais doivent être les suivantes:

- a) Séquence d'essais I
 - 1) Vérification de l'échauffement (9.3.3.3)
 - 2) Vérification des propriétés diélectriques (9.3.3.4)
- b) Séquence d'essais II Vérification de l'aptitude au fonctionnement (9.3.3.6)
 - 1) Essai de stabilité thermique (9.3.3.6.2)
 - 2) Essai d'aptitude en surcharge (9.3.3.6.3)
 - 3) Essai d'aptitude à la commutation et capacité de blocage (9.3.3.6.4), comprenant la vérification du fonctionnement et des limites de fonctionnement
- c) Séquence d'essais III
 - Fonctionnement dans des conditions de court-circuit (9.3.4)
- d) Séquence d'essais IV
 - 1) Vérification des propriétés mécaniques des bornes
(voir 9.2.5 de l'IEC 60947-1:2020, 9.2.2 et 9.2.3 du présent document);
 - 2) Vérification des degrés de protection des matériels sous enveloppe (Annexe C de l'IEC 60947-1:2020)
- e) Séquence d'essais V
 - Essais CEM (9.4)
- f) Séquence d'essais VI
 - Essai de manœuvre de déclenchement (9.3.3.6.6)

9.3.2 Conditions générales d'essai

Le paragraphe 9.3.2 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec l'ajout suivant.

A l'exception des appareils de caractéristiques spécifiquement prévues pour une seule fréquence, les essais réalisés à 50 Hz couvrent les applications à 60 Hz et vice-versa.

La sélection des échantillons à soumettre aux essais pour une série d'appareils avec la même configuration de base et sans différence significative de construction doit être fondée sur une appréciation technique.

Sauf spécification contraire dans le paragraphe décrivant l'essai correspondant, le couple de serrage des connexions doit être celui spécifié par le fabricant ou, s'il n'est pas précisé, le couple donné dans le Tableau 4 de l'IEC 60947-1:2020.

Dans le cas où 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 Vide

9.3.3.2 Consommation d'énergie

La consommation d'énergie de l'appareil de commande à semiconducteurs est mesurée à l'aide d'un wattmètre aux bornes de la tension d'alimentation du circuit de commande, en fonctionnement à pleine conduction lors d'un cycle de service type.

9.3.3.3 Echauffement

9.3.3.3.1 Température de l'air ambiant

Le paragraphe 9.3.3.3.1 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

9.3.3.3.2 Mesure de la température des pièces

Le paragraphe 9.3.3.3.2 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

9.3.3.3.3 Echauffement d'une partie

Le paragraphe 9.3.3.3.3 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

9.3.3.3.4 Echauffement du circuit principal

Le paragraphe 9.3.3.3.4 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, à l'exception qu'un essai en courant monophasé doit être réalisé, tous les pôles dans le circuit principal étant alimentés à leurs courants assignés maximaux individuels et tel qu'indiqué en 8.2.2.4, et avec les ajouts suivants:

Pour les appareils de connexion à semiconducteurs 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 de l'appareil de connexion à semiconducteurs susceptible de présenter 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 9.3.3.6.2.

Pour les appareils mécaniques de connexion (voir 8.2.2.5.2), les dispositifs de mesure de la température doivent être fixés selon les exigences de 9.3.3.3 de l'IEC 60947-1:2020.

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.

Le démarreur doit être équipé d'un relais de surcharge répondant aux dispositions de 5.7, et choisi comme suit:

- relais non réglable:
le courant de réglage doit être égal au courant maximal d'emploi du démarreur, et l'essai doit être réalisé à ce courant;
- relais réglable:
le courant de réglage maximal doit être celui qui est le plus proche du courant maximal d'emploi du démarreur, sans dépasser celui-ci.

Pour les démarreurs, l'essai doit être réalisé avec le relais de surcharge pour lequel le courant de réglage est le plus voisin du maximum de son échelle.

NOTE La méthode de sélection décrite ci-dessus est conçue pour s'assurer que l'échauffement des bornes de câblage à l'installation du relais de surcharge, et la puissance dissipée par le démarreur, ne sont pas inférieurs à ceux qui auraient lieu avec toute combinaison d'un relais et d'un gradateur. Dans les cas où l'influence du relais de surcharge sur ces valeurs n'est pas significative (c'est-à-dire dans le cas des relais statiques de surcharge), le courant d'essai est le courant maximal d'emploi du démarreur.

9.3.3.3.5 Echauffement des circuits de commande

Le paragraphe 9.3.3.3.5 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec l'ajout 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 électroaimants

Le paragraphe 9.3.3.3.6 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique avec l'ajout suivant:

Les électroaimants des contacteurs ou démarreurs destinés à fonctionner dans des gradateurs à semiconducteurs ou comme appareil mécanique de connexion de dérivation doivent satisfaire à 8.2.2.7, le circuit principal étant parcouru par le courant assigné pendant toute la durée de l'essai. L'échauffement doit être mesuré au cours de l'essai de 9.3.3.3.4.

9.3.3.3.7 Echauffement des circuits auxiliaires

Le paragraphe 9.3.3.3.7 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec l'ajout 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 paragraphe 9.3.3.4.1 1) de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

(2) Vérification de la tension de tenue aux chocs

a) Généralités

Le paragraphe 9.3.3.4.1 2) a) de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

b) Tension d'essai

Le paragraphe 9.3.3.4.1 2) b) de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec la phrase suivante ajoutée:

Pour tout élément dont la tenue diélectrique n'est pas sensible à l'altitude (par exemple optocoupleur, élément enrobé, etc.), le facteur de correction d'altitude ne s'applique pas.

c) Application de la tension d'essai

Le matériel étant monté et préparé comme spécifié à l'alinéa 1) ci-dessus, la tension d'essai est appliquée comme suit:

- i) entre toutes les bornes du circuit principal reliées entre elles (y compris les circuits de commande et auxiliaires 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 (3.1.2.31) des autres pôles: entre chaque pôle et les autres pôles reliés entre eux et l'enveloppe ou l'embase de montage, les contacts étant dans toutes leurs positions normales de fonctionnement;
- iii) entre chaque circuit de commande et 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, le cas échéant, peuvent être reliées entre elles;
- iv) pour les matériels aptes au sectionnement, à travers les pôles du circuit principal, les bornes d'alimentation étant reliées entre elles et les bornes de charge étant reliées entre elles. La tension d'essai doit être appliquée entre les bornes d'alimentation et de charge du matériel, les contacts étant en position d'ouverture sectionnée, et sa valeur doit être telle que spécifiée en 1) b) de 8.2.3.2 de l'IEC 60947-1:2020.
- d) Critères d'acceptation
- Le paragraphe 9.3.3.4.1 2) d) de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.
- (3) Vérification de la tenue à fréquence industrielle de l'isolation solide
- a) Généralités
- Le paragraphe 9.3.3.4.1 3) a) de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.
- b) Tension d'essai
- Le paragraphe 9.3.3.4.1 3) b) de l'IEC 60947-1:2020 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 d'essai alternative sélectionnée peut être appliquée.
- c) Application de la tension d'essai
- Le paragraphe 9.3.3.4.1 3) c) de l'IEC 60947-1:2020 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 alinéas i), ii) et iii) du 2) c) ci-dessus;
 - dans le cas de gradateurs ou démarreurs à semiconducteurs avec un appareil mécanique de connexion en série, à travers les pôles du circuit principal, les bornes d'alimentation étant reliées entre elles et les bornes de charge étant reliées entre elles.
- d) Critères d'acceptation
- Le paragraphe 9.3.3.4.1 3) d) de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.
- (4) Vérification de la tenue à fréquence industrielle après les essais de commutation en charge et les essais de court-circuit
- a) Généralités
- Le paragraphe 9.3.3.4.1 4) a) de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.
- b) Tension d'essai
- Le paragraphe 9.3.3.4.1 4) b) de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.
- c) Application de la tension d'essai
- Le paragraphe 9.3.3.4.1 4) c) de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec la phrase suivante ajoutée à la fin de l'alinéa.
- L'usage d'une feuille métallique, comme mentionné en 9.3.3.4.1 1) de l'IEC 60947-1:2020, n'est pas exigé.
- d) Critères d'acceptation
- Le paragraphe 9.3.3.4.1 4) d) de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.
- (5) Vide

(6) Vérification de la tension de tenue en courant continu

Le paragraphe 9.3.3.4.1 4) de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

(7) Vérification des lignes de fuite

Le paragraphe 9.3.3.4.1 7) de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

(8) Vérification du courant de fuite du matériel apte au sectionnement

Le courant de fuite maximal ne doit pas dépasser les valeurs de 8.2.7 de l'IEC 60947-1:2020.

9.3.3.4.2 Vide

9.3.3.4.3 Essais sur prélèvement pour la vérification des distances d'isolement

(1) Généralités

Le paragraphe 9.3.3.4.3 1) de l'IEC 60947-1:2020 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 la procédure d'échantillonnage sont à l'étude.

(3) Application de la tension d'essai

Le paragraphe 9.3.3.4.3 3) de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

(4) Critères d'acceptation

Le paragraphe 9.3.3.4.3 4) de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

9.3.3.5 Pouvoir de fermeture et pouvoir de coupure des appareils mécaniques de connexion

9.3.3.5.1 Généralités

Les pouvoirs de fermeture et de coupure doivent être vérifiés selon 9.3.3.5 de l'IEC 60947-1:2020.

Cet essai doit couvrir les conditions des valeurs coupées maximales de la tension, de la puissance et du courant.

9.3.3.5.2 Appareils mécaniques de connexion des gradateurs et démarreurs à semiconducteurs de moteurs

L'ensemble complet, avec le dispositif de dérivation installé, doit être soumis à essai comme en service normal. Pour simuler le démarrage et l'arrêt, la séquence de fonctionnement doit être la même qu'en service normal.

Si les appareils mécaniques de connexion ont déjà satisfait aux exigences selon le Tableau 11 et le Tableau 12, la répétition de l'essai n'est pas exigée.

9.3.3.6 Aptitude au fonctionnement

9.3.3.6.1 Généralités

La conformité aux exigences d'aptitude au fonctionnement de 8.2.4.1 doit être vérifiée par les trois essais suivants:

- essai de stabilité thermique;
- essai d'aptitude en surcharge;
- essai 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 du circuit de commande U_s .

Si le gradateur d'un démarreur a par ailleurs satisfait à un essai d'aptitude au fonctionnement et répond aux exigences de 5.4.2, il n'est pas nécessaire de soumettre le démarreur à essai pour attribuer ses caractéristiques suivant les résultats d'essai.

Tableau 14 – Spécifications d'essai pour la stabilité thermique

Point	Niveau	Instructions
Objectif de l'essai	Vérifier que la variation de température entre des cycles successifs de manœuvres 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 dans le Tableau 2 de l'IEC 60947-1:2020.	
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 8	
Température du matériel soumis à essai	C_n , température de boîtier	Dispositifs de mesure de la température fixés sur la surface extérieure d'un appareil de connexion à semiconducteurs (9.3.3.3.4). Surveiller l'appareil de connexion à semiconducteurs susceptible d'être le plus chaud.
Température ambiante	A_n , tout niveau convenable	Dispositifs de mesure de la température pour surveiller les variations de la température ambiante (le paragraphe 9.3.3.3.1 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique).
Résultats à obtenir	a) $\Delta_n \leq 0,05$ pendant une période de 8 h b) Pas de détérioration évidente (c'est-à-dire fumée, décoloration) c) L'échauffement des bornes accessibles de l'appareil mécanique de connexion dans le circuit principal ne doit pas dépasser les limites prescrites dans le Tableau 2 de l'IEC 60947-1:2020. d) Lorsque les bornes ne sont pas accessibles, les valeurs du Tableau 2 de l'IEC 60947-1:2020 peuvent être dépassées, à condition que les parties adjacentes ne soient pas endommagées.	

Tableau 15 – Exigences de température initiale du boîtier

Numéro du cycle de fonctionnement	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 du démarreur ou du relais de surcharge recommandé par le fabricant, destiné à être utilisé avec le gradateur.
3 et 4	≥ 40 °C plus l'échauffement maximal du boîtier pendant l'essai d'échauffement (9.3.3.3)

9.3.3.6.2 Procédure d'essai de stabilité thermique

Les spécifications d'essai et les critères d'acceptation sont donnés dans le Tableau 14. Les profils d'essai 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 , au niveau 1 (voir Tableau 8). Mettre n à une nouvelle valeur telle que $n = n+1$.
- (4) L'intervalle de temps de t commence à l'instant où le courant d'essai atteint la valeur I_T . Par conséquent, le temps nécessaire à l'accélération contrôlée du courant d'essai pour que celui-ci atteigne I_T augmente le temps d'essai total.

Commuter le matériel soumis à essai sur l'état passant (la tension de commande du matériel soumis à essai, 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 à l'accélération contrôlée du courant d'essai pour que celui-ci atteigne $X \times I_e$ augmente le temps d'essai total.

- (5) Il est nécessaire d'effectuer cette étape en fonction de la catégorie d'emploi.
 - a) Pour AC-2a, AC-3a, AC-8a seulement.
Après un temps t (Tableau 8), mettre le courant d'essai, I_T , au niveau 2.
Après le temps au niveau 2, commuter le matériel soumis à essai à l'état non passant.
 - b) Pour AC-2b, AC-3b, AC-8b seulement.
Après un temps t (Tableau 8), commuter le matériel soumis à essai à l'état non passant.
- (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 aux résultats à obtenir (Tableau 14)

Si $\Delta_n > 0,05$, et si la durée totale de l'essai est inférieure à 8 h, et si les résultats à obtenir a) et b) du Tableau 14) sont respectés, répéter les étapes 3 à 7.

Si $\Delta_n > 0,05$, et si la durée totale de l'essai est supérieure à 8 h, ou si les résultats à obtenir ne sont pas respectés, arrêter l'essai. Il s'agit d'une défaillance.

Si $\Delta_n \leq 0,05$, et si la durée totale de l'essai est inférieure à 8 h, et si les résultats à obtenir a), b), c) et d) du Tableau 14 sont respectés, arrêter l'essai. L'essai est conforme.

9.3.3.6.3 Procédure d'essai d'aptitude en surcharge

- (1) Conditions d'essai
 - a) Se référer au Tableau 10. Le profil d'essai est représenté à la Figure F.2.
 - b) Les gradateurs et les démarreurs utilisant un dispositif supplémentaire pouvant commander la coupure du courant, en plus du relais de surcharge fournissant une protection en conditions de surcharge pendant un fonctionnement à l'état de pleine conduction, doivent être soumis à essai avec ce dispositif en place. Dans cet essai, il est acceptable que le dispositif fasse commuter le matériel soumis à essai à l'état non passant dans un temps plus court que la durée à l'état passant spécifiée.
- (2) Réglages du matériel soumis à essai
 - a) Le matériel soumis à essai doit être réglé pour réduire le plus possible le temps d'établissement du niveau de courant d'essai I_T .
 - b) Le matériel soumis à essai équipé d'une fonction de limitation de courant doit être réglé à la valeur la plus élevée de X spécifiée pour I_e .
 - c) Lorsque le matériel soumis à essai est un démarreur, son relais de surcharge doit être neutralisé. La durée à l'état passant du cycle de manœuvres t , doit être ajusté selon c) du Tableau 10.

NOTE L'intervalle de temps de t commence à l'instant où le courant d'essai atteint la valeur I_T . Par conséquent, le temps nécessaire à l'accélération contrôlée du courant d'essai pour que celui-ci atteigne I_T augmente le temps d'essai total.

(3) Essai

- a) Etablir les conditions initiales.
- b) Appliquer la tension d'essai aux bornes du circuit principal d'entrée du matériel soumis à essai.

Pour un gradateur ou démarreur à semiconducteurs de moteurs en série avec un appareil mécanique de connexion, le contact de l'appareil mécanique de connexion en série est fermé.

La tension d'essai doit être appliquée pendant la durée de l'essai.

- c) Commuter le matériel soumis à essai à l'état passant.
- d) A la fin du temps prescrit à l'état passant (Tableau 10), commuter le matériel soumis à essai à l'état non passant.
- e) Répéter les étapes c) et d) pour le nombre de cycles du Tableau 10. Fin de l'essai.

Pour un matériel soumis à essai ayant une fonction de limitation de courant pendant le démarrage du moteur (et une possibilité d'arrêt), mais non dans l'état de pleine conduction, la procédure d'essai d'aptitude en surcharge pour vérifier la conformité du matériel soumis à essai aux exigences de 8.2.4.1 est la suivante.

- i) Après deux cycles de manœuvres comme décrits ci-dessus, le matériel soumis à essai est commuté à l'état passant et traversé par un courant d'essai initial I_{init} , non supérieur à I_e .
- ii) Le matériel soumis à essai étant en pleine conduction, le circuit d'essai spécifié dans le Tableau 10 est connecté à la charge à l'aide d'un interrupteur extérieur. Il ne doit pas y avoir d'interruption de courant pendant la transition du courant I_{init} vers le courant I_T .
- iii) Conformément au Tableau 7, le courant d'essai I_T est maintenu pendant t avant l'établissement d'un état non passant par le matériel soumis à essai. Il est admis que le matériel soumis à essai puisse passer à l'état non passant au bout d'un temps inférieur à t .
- iv) Ce cycle de manœuvres est effectué deux fois.

Les conditions de température initiales du boîtier pour ces cycles de manœuvres exigés doivent être conformes à celles du Tableau 15.

(4) Vérifier les critères (voir 9.3.3.6.4)

- a) Pas de perte de l'aptitude à la commutation.
- b) Pas de perte de capacité de blocage.
- c) Pas de perte de fonctionnalité.
- d) Pas de détérioration visible.

9.3.3.6.4 Essai de capacité de blocage et d'aptitude à la commutation

Les profils d'essai sont représentés à la Figure F.3. Les paramètres du moteur à induction et de la charge mécanique sont donnés dans le Tableau 16.