IEC 60947-9-2

Edition 1.0 2021-04

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

Low-voltage switchgear and controlgear – Part 9-2: Active arc-fault mitigation systems – Optical-based internal arc-detection and mitigation devices

Appareillage à basse tension – Partie 9-2: Systèmes actifs de limitation des défauts d'arc – Dispositifs optiques de détection et de limitation d'arcs internes

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ICS 29.120.40; 29.130.20

ISBN 978-2-8322-9606-6

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

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

CONTENTS

FOREWORD 7
INTRODUCTION 9
1 Scope 11
2 Normative references 12
3 Terms and definitions 13
4 Classification 16
4.1 IACD type 16
4.1.1 Stand-alone type IACD 16
4.1.2 Multifunction-type IACD 17
4.1.3 Combined-type IACD 17
4.2 Combination of sensors 18
4.2.1 Optical sensors-only type 18
4.2.2 Optical sensors and secondary sensors type 18
4.3 Binary output types 19
4.3.1 Operate output 19
4.3.2 Auxiliary binary output 19
5 Characteristics 19
5.1 Maximum arc-fault detection time 19
5.2 Maximum arc-fault extinction time 19
5.3 Minimum arc-fault detection current value 19
5.4 Maximum prospective short-circuit current value 19
6 Product information 20
6.1 Nature of information 20
6.2 Markings 20
6.3 Instructions for installation, operation, maintenance, decommissioning and dismantling 21
7 Normal service, mounting and transport conditions 22
8 Constructional and performance requirements 22
8.1 Constructional requirements 22
8.1.1 General 22
8.1.2 Creepages and clearances 22
8.1.3 Material requirement 22
8.2 Performance requirements 23
8.2.1 General 23
8.2.2 Operating conditions 23
8.2.3 Temperature-rise 23
8.3 Electromagnetic compatibility (EMC) 24
9 Tests 24
9.1 General – Kind of tests 24
9.2 Compliance with constructional requirements 24
9.3 Type tests 24
9.3.1 General 24
9.3.2 Guidance on sample selection 26
9.3.3 Light-immunity tests 29
9.3.4 Detection and extinction tests 31
9.3.5 Dielectric properties 37

9.3.6 EMC tests 38
9.3.7 Environmental tests 39
9.3.8 Temperature-rise tests 41
9.3.9 Functional tests 41
9.4 Routine tests 41
9.4.1 General 41
9.4.2 Functional requirements 42
9.4.3 Safety requirements 42
10 Test report 43
Annex A (normative) Detection tests under reduced energy arcs 44
A.1 General 44
A.2 Electrical test circuit, electrodes and arc parameters 45
A.2.1 Electrical test circuit 45
A.2.2 Calibration of test circuit 45
A.2.3 Electrodes 45
A.2.4 Ignition wire 45
A.2.5 Arc electrical values 45
A.2.6 Environmental conditions 46
A.2.7 Conditioning of test objects 46
A.3 Preparation and maintenance 46
A.3.1 Preparation and conditioning of the test box 46
A.3.2 Care and maintenance of the test equipment 47
A.4 Optical sensors conditioning and positioning 47
A.5 Instructions for IACD maintenance during test sequence 49
Annex B (normative) Detection and extinction tests for high energy arcs 50
B.1 General 50
B.2 Test specimen, electrical test circuit, arc parameters 50
B.2.1 Test specimen (stand-alone or multifunction-type IACD) 50
B.2.2 Test specimen (combined-type IACD) 51
B.2.3 Electrical test circuit 55
B.2.4 IACD configuration 56
B.2.5 Arc parameters 56
B.3 Environmental conditions 56
B.4 Optical sensors conditioning and positioning 57
B.5 Instructions for maintenance 58
Annex C (normative) Arcing current parameters 59
C.1 Preamble 59
C.2 The different phases of an arc 59
C.3 Detection of arc initiation (t_0) 60
C.4 Arc continuity 62
C.5 Detection of arc-extinction 62
C.5.1 General 62
C.5.2 Quenching device 62
C.5.3 Current-switching device 62
C.6 Measurement means 62
C.7 Waveform consistency 62
Annex D (informative) IACD optical measurements 64
D.1 Preamble 64

D.1.1 General 64
D.1.2 Photometry – The appearance point of view 64
D.1.3 Radiometry – The technical point of view 64
D.2 The different optical units 64
D.2.1 General 64
D.2.2 The luminosity function 65
D.2.3 How to use the luminosity function 66
D.3 Light measurement 68
D.3.1 Use of a luxmeter 68
D.3.2 Use of a spectrometer 69
D.3.3 Spectrometer operation 70
D.3.4 Calibration 71
D.3.5 Absolute irradiance calibration 73
D.3.6 Luxmeter operation 73
D.3.7 Luxmeter calibration 74
D.3.8 Luxmeter to spectrometer comparison 75
D.4 Measuring the sensitivity and bandwidth of the optical sensors of an IACD 75
Annex E (normative) Ambient light immunity tests 77
E.1 General 77
E.2 Test method 78
E.2.1 Principle 78
E.2.2 IACD installation and setup 78
E.2.3 Environmental conditions 79
E.2.4 Requirements for light source 79
E.2.5 Requirements for luxmeter 79
E.2.6 Calibration and testing method 80
E.2.7 Test report 82
Annex F (informative) Items subject to agreement between manufacturer and user 83
Bibliography 84

Figure 1 – Optical-based IACD schematic (stand-alone type and no secondary sensor) 11
Figure 2 – Stand-alone type IACD architecture overview 17
Figure 3 – Multifunction-type IACD architecture overview 17
Figure 4 – Combined-type IACD architecture overview 18
Figure 5 – Stand-alone IACD (hardware) architecture 27
Figure 6 – Multifunction-type IACD (hardware) architecture 28
Figure 7 – Reduced energy detection tests – Arrangement principle 33
Figure 8 – Method of test 35
Figure 9 – High energy detection and extinction tests – Arrangement principle 36
Figure A.1 – Arc-test box outline 44
Figure A.2 – Positioning principle (point-sensor test case) 48
Figure A.3 – Positioning principle (optical fibre test case) 49
Figure B.1 – Three-phase edge-to-edge arrangement principle (stand-alone or multifunction-type, top view) 50
Figure B.2 – Three-phase face-to-face arrangement principle (stand-alone or multifunction-type, top view) 51

Figure B.3 – Three-phase edge-to-edge arrangement principle (line combined-type, top view) 52
Figure B.4 – Three-phase face-to-face arrangement principle (line combined-type, top view) 53
Figure B.5 – Three-phase test edge-to-edge arrangement principle (parallel combined-type, top view) 54
Figure B.6 – Three-phase test face-to-face arrangement principle (parallel combined-type, top view) 55
Figure B.7 – Positioning of optical sensor vs arc 57
Figure C.1 – Detection of arc ignition 61
Figure C.2 – Example of invalid test due to unintended arcing caused by incorrect connection of ignition wire 63
Figure D.1 – The luminosity function, also known as $\upsilon(\lambda)$ curve, describes the sensitivity of the human eye 66
Figure D.2 – Example of a measured absolute irradiance spectrum from an arc formed across two copper busbars at 5 kA (RMS) 60 Hz 67
Figure D.3 – Resulting integrals of the illuminance, Φ_v, and irradiance, Φ_e, produced from the measured arc data taken from Figure D.2 68
Figure D.4 – Block diagram of typical luxmeter circuit 69
Figure D.5 – Example of spectral irradiance measurement from a compact fluorescent light 69
Figure D.6 – Basic components of a spectrometer 71
Figure D.7 – Calculated emission of a Planck's emitter at 2 500 K, $\upsilon(\lambda)$ curve and resulting overlap 73
Figure D.8 – Calibration bench for luxmeters 74
Figure D.9 – Examples of spectral irradiance measured at 50 cm distance between spectrometer and light source 76
Figure D.10 – Spectral irradiance examples comparing a continuous xenon light source to a pulsed xenon light source 76
Figure E.1 – Calibrating the system for 2 000 lx 78
Figure E.2 – Luxmeter readings for QTH at 207 W (6,50 A at 31,8 V) at various distances between the luxmeter and the light source 80
Figure E.3 – Test setup for an IACD fitted with point-sensor 81
Figure E.4 – Test setup for an IACD fitted with optical fibre sensor 81

Table 1 – Markings and indications for an IACD [d] 20
Table 2 – Test conditions for glow-wire test 23
Table 3 – Tests sequences for standalone-type or multifunction-type IACD 25
Table 4 – Tests sequences for combined-type IACD 26
Table 5 – General conditions of tests under high energy 37
Table 6 − EMC − Emission tests 39
Table 7 – Insulation test parameters 40
Table 8 – Vibration test parameters 40
Table A.1 – Test circuit conditions 45
Table A.2 – Ignition wire specifications 45
Table A.3 – Arc parameters 46
Table A.4 – Environmental conditions 46

Table A.5 – Point-sensor positioning values 47
Table A.6 – Optical fibre sensor positioning values 48
Table B.1 – Test circuit conditions 56
Table B.2 – Arc values 56
Table B.3 – Environmental conditions 57
Table B.4 – Point-sensor positioning values 58
Table B.5 – Optical fibre sensor positioning values 58
Table B.6 – Authorized maintenance 58
Table C.1 – Main phases of an arc-fault 59
Table D.1 – Selected photometric and radiometric definitions and units 65
Table E.1 – Minimum ambient light values regarding specific workplaces 77

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

LOW-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 9-2: Active arc-fault mitigation systems – Optical-based internal arc-detection and mitigation devices

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.

IEC 60947-9-2 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. It is an International Standard.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
121A/406/FDIS	121A/417/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

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

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

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

INTRODUCTION

Low-voltage switchgear and controlgear, as well as complementary protective and measuring devices, are installed in assemblies according to IEC 61439 series standards and/or others, which provide rules and requirements for interface characteristics, service conditions, construction, performance and verification.

The main objective of these standards is to achieve the safe operation of low-voltage switchgear and controlgear assemblies under normal operating conditions as well as under abnormal operating conditions, e.g. occurrence of overvoltage, overload or short-circuit currents.

The case of an arc-fault inside a LV assembly is considered by the following publications:

– IEC TR 61641, which specify tests requirements for assemblies under internal arc-fault;
– IEC TR 61439-0:2013, which identifies arc-fault containment in its Annex C;
– IEC TS 63107, which specifies tests to verify correct integration of internal arc-fault mitigation systems in power switchgear and controlgear assemblies (PSC assemblies) according to IEC 61439-2.

Even in a Class I assembly according to IEC TR 61641, the occurrence of an internal arc cannot be completely excluded. Typically, internal arc-faults result from:

– conducting materials inadvertently left inside equipment during manufacture, installation or maintenance;
– failures in materials or workmanship;
– inadvertent contact with a live conductor;
– entry of small animals such as mice, snakes, ants, etc.;
– use of an incorrect assembly for the application resulting in overheating and subsequently an internal arcing fault;
– inappropriate operating conditions (for example water, fungus, or dust);
– incorrect operation; or,
– lack of maintenance or inappropriate maintenance (loose parts, paint, etc.).

The occurrence of arcs inside enclosed assemblies is associated with various physical phenomena. For example, the arc energy resulting from an arc developed in air at atmospheric pressure within the enclosure will cause an internal overpressure and local overheating which will result in mechanical and thermal stressing of the assembly. Moreover, the materials involved may produce hot decomposition products, either gases, metals or vapours, which may be discharged outside of the enclosure.

Due to the risk of personal injury, damage and loss of energy supply as consequences of internal arc-faults there is a growing demand for internal arc-fault sensing and mitigation. This is the reason why some standards have been drafted to give specifications including test protocol and acceptance criteria for corresponding devices. Arc-fault effects can be dramatically reduced by active arc-fault mitigation systems, combining fast detection of the internal arc-fault, and related actions on short-circuit protection devices and/or additional quenching devices. Therefore, the application of such devices can result in:

– reduction of incident/released energy;
– shortening of power outage/downtime (by minimizing damage to the enclosed equipment, switchgear and controlgear as well as other measuring and protective devices);
– limitation of side-effects to other systems, due to high and continuously increasing density of installed apparatus.

This document is intended to cover devices and functions dedicated to:

– detect an arc-fault internal to an assembly by processing optical effects of an internal arc-fault, and to signal and trigger devices intended to mitigate the internal arc-fault, and

– detect by processing optical effects of an internal arc-fault and mitigate the impact of the internal arc-fault by its extinction.

NOTE Even when both terms are related to assemblies in which an arc occurs between conductors, arc-flash is terminology mainly used in NFPA 70E, CSA Z462 and IEEE 1584, which usually describes effects of direct exposure of workers to thermal energy emitted, whereas the term "internal arc-fault" as used in this document describes the hot-gas flow phenomena which can injure people in the vicinity of the arcing current.

LOW-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 9-2: Active arc-fault mitigation systems – Optical-based internal arc-detection and mitigation devices

1 Scope

This document covers internal arc-fault control devices, hereinafter referred to as IACD, which are intended to:

– detect internal arc-faults in low-voltage switchgear and controlgear assemblies, by processing (at a minimum) the optical effect of an internal arc-fault, and

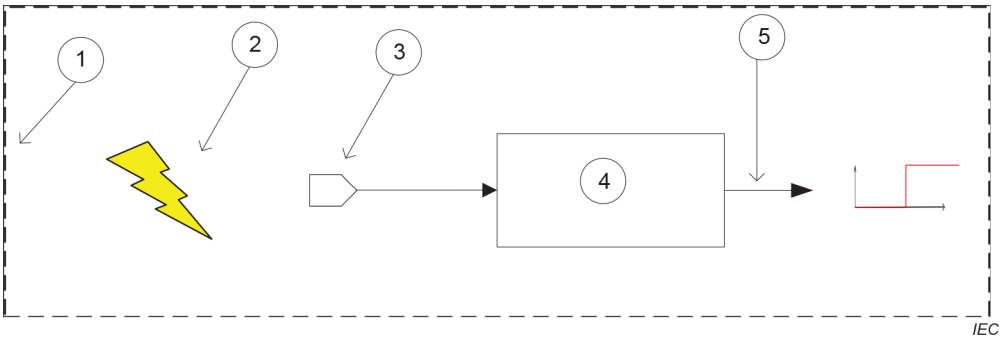
– operate mitigation device (either external or combined)

in order to minimize the effects of the internal arc-fault (see Figure 1).

For the purpose of this document the terms "light" or "optical" covers more than visible spectra. They may cover also, for example, infrared or ultraviolet electromagnetic radiations (see Annex D).

For combined-type IACD, this document is considered in addition to the relevant product standard for internal arc-fault mitigation devices (IARD per IEC TS 63107:2020). Compliance to the relevant product standard is mandatory and cannot be claimed by testing to this document alone.

NOTE 1 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies are usually described by IEC 61439 series.



NOTE This figure displays a simplified IACD schematic with only one optical sensor and no other sensing means that can be used for secondary confirmation of an arcing fault, such as current sensing.

Key

1 assembly enclosure

2 internal arc-fault

3 optical sensor

4 processing unit

5 trigger output used to operate e.g. mitigation device

Figure 1 – Optical-based IACD schematic (stand-alone type and no secondary sensor)

Therefore, this document covers the following:

– internal arc-fault control device (stand-alone, multifunction or combined);

– one or more associated sensor(s) used to detect optical effect of the internal arc-fault;

– sensor(s), sensing another physical effect, to confirm the fault;

– associated or combined mitigation device.

An IACD is not intended to trigger under normal operation of low-voltage switchgear and controlgear (i.e. absence of internal arc-fault), including normal arcing associated with operation of disconnecting and switching devices.

This document only covers the following methods:

– optical detection of the light caused by an internal arc-fault;
– optional confirmation of internal arc-fault by line current measurement.

Many different conductive materials could be used in LV assemblies (e.g. steel, copper, aluminium). Nevertheless, tests specified in this document are deemed to represent the most critical and challenging conditions for arc-detection and cover all combinations of conductive materials.

NOTE 2 Compared to other materials (e.g. steel, aluminium), copper leads to a lower optical radiation energy.

The rated voltage of the assembly in which an IACD is installed does not exceed 1 000 V AC.

Such devices are designed to be operated and maintained by skilled persons only.

This document does not cover:

– DC internal arc-fault detection and control;
– overcurrent relays;
– AFDD (arc-fault detection devices) as defined by IEC 62606;
– guidance on installation within assemblies;

NOTE 3 The integration of an IACD into an assembly is described in IEC TS 63107.

– use with additional measures needed for installation and operation within explosive atmospheres. These are given in IEC 60079 series documents;
– requirements for embedded software and firmware design rules; for this subject, the manufacturer is responsible for taking additional safety measures;

NOTE 4 IEC TR 63201 describes rules for firmware and embedded software development preventing errors in software.

– cybersecurity aspects; for this subject, the manufacturer is responsible for taking additional safety measures;

NOTE 5 See IEC TS 63208.

– mobile applications.

NOTE 6 Even when addressing internal arc-fault mitigation devices, this document does not supersede any other relevant product standard (e.g. IEC 60947-2 or IEC 60947-9-1).

NOTE 7 DC arcing fault phenomena are under consideration. Further investigation is needed to comprehend DC arcing phenomena and required sensing.

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 60068-2-6:2007, *Environmental testing – Part 2-6: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-27:2008, *Environmental testing – Part 2-27: Tests – Test Ea and guidance: Shock*

IEC 60068-2-30:2005*, Environmental testing – Part 2-30: Tests – Test Db: Damp heat, cyclic (12 h + 12 h cycle)*

IEC 60255-27:2013, *Measuring relays and protection equipment – Part 27: Product safety requirements*

IEC 60695-2-10, *Fire hazard testing – Part 2-10: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire apparatus and common test procedure*

IEC 60695-2-11:2014, *Fire hazard testing – Part 2-11: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire flammability test method for end-products (GWEPT)*

IEC 60695-2-12, *Fire hazard testing – Part 2-12: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire flammability index (GWFI) test method for materials*

IEC 60715:2017, *Dimensions of low-voltage switchgear and controlgear – Standardized mounting on rails for mechanical support of switchgear, controlgear and accessories*

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

IEC 60947-2:2016, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 2: Circuit-breakers*
IEC 60947-2:2016/AMD1:2019

IEC 60947-9-1:2019, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 9-1: Active arc-fault mitigation systems – Arc quenching devices*

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

IEC 61482-1-2:2014, *Live working – Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc – Part 1-2: Test methods – Method 2: Determination of arc protection class of material and clothing by using a constrained and directed arc (box test)*

IEC 61557-2, *Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V AC and 1 500 V DC – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 2: Insulation resistance*

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

CISPR 32:2015, *Electromagnetic compatibility of multimedia equipment – Emission requirements*

ISO 3864-1:2011, *Graphical symbols – Safety colours and safety signs – Part 1: Design principles for safety signs and safety markings*

ISO 3864-2:2016, *Graphical symbols – Safety colours and safety signs – Part 2: Design principles for product safety labels*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 91
INTRODUCTION 93
1 Domaine d'application 95
2 Références normatives 97
3 Termes et définitions 98
4 Classification 101
4.1 Type d'IACD 101
4.1.1 IACD de type autonome 101
4.1.2 IACD de type multifonction 101
4.1.3 IACD de type combiné 102
4.2 Combinaison de capteurs 103
4.2.1 Type à capteurs optiques uniquement 103
4.2.2 Type à capteurs optiques et à capteurs secondaires 103
4.3 Types de sorties binaires 103
4.3.1 Sortie d'actionnement 103
4.3.2 Sortie binaire auxiliaire 103
5 Caractéristiques 103
5.1 Temps maximal de détection d'un défaut d'arc 103
5.2 Temps maximal d'extinction d'un défaut d'arc 104
5.3 Valeur minimale de détection du courant de défaut d'arc 104
5.4 Valeur du courant de court-circuit présumé maximal 104
6 Informations sur le produit 104
6.1 Nature des informations 104
6.2 Marquages 104
6.3 Instructions d'installation, de fonctionnement, de maintenance, de mise hors service et de démontage 106
7 Conditions normales de service, de montage et de transport 107
8 Exigences relatives à la construction et au fonctionnement 107
8.1 Exigences relatives à la construction 107
8.1.1 Généralités 107
8.1.2 Lignes de fuites et distances d'isolement 107
8.1.3 Exigences relatives aux matériaux 107
8.2 Exigences relatives au fonctionnement 108
8.2.1 Généralités 108
8.2.2 Conditions de fonctionnement 109
8.2.3 Échauffement 109
8.3 Compatibilité électromagnétique (CEM) 109
9 Essais 109
9.1 Généralités - Nature des essais 109
9.2 Conformité aux exigences relatives à la construction 109
9.3 Essais de type 109
9.3.1 Généralités 109
9.3.2 Recommandations relatives au choix de l'échantillon 112
9.3.3 Essais d'immunité à la lumière 114
9.3.4 Essais de détection et d'extinction 116
9.3.5 Propriétés diélectriques 123

9.3.6 Essai de CEM 124
9.3.7 Essais d'environnement 125
9.3.8 Essais d'échauffement 127
9.3.9 Essais fonctionnels 127
9.4 Essais individuels de série 127
9.4.1 Généralités 127
9.4.2 Exigences fonctionnelles 128
9.4.3 Exigences de sécurité 128
10 Rapport d'essai 129
Annexe A (normative) Essais de détection sous arcs à basse énergie 131
A.1 Généralités 131
A.2 Circuit d'essai électrique, électrodes et paramètres de l'arc 132
A.2.1 Circuit d'essai électrique 132
A.2.2 Étalonnage du circuit d'essai 132
A.2.3 Électrodes 132
A.2.4 Fil d'amorçage 132
A.2.5 Valeurs électriques de l'arc 132
A.2.6 Conditions d'environnement 133
A.2.7 Conditionnement des objets en essai 133
A.3 Préparation et maintenance 134
A.3.1 Préparation et conditionnement de l'enceinte d'essai 134
A.3.2 Entretien et maintenance du matériel d'essai 134
A.4 Conditionnement et positionnement des capteurs optiques 134
A.5 Instructions de maintenance de l'IACD pendant la séquence d'essais 137
Annexe B (normative) Essais de détection et d'extinction d'arcs à haute énergie 138
B.1 Généralités 138
B.2 Produit soumis à l'essai, circuit d'essai électrique, paramètres de l'arc 138
B.2.1 Produit soumis à l'essai (IACD de type autonome ou multifonction) 138
B.2.2 Produit soumis à l'essai (IACD de type combiné) 139
B.2.3 Circuit d'essai électrique 143
B.2.4 Configuration de l'IACD 144
B.2.5 Paramètres de l'arc 144
B.3 Conditions d'environnement 145
B.4 Conditionnement et positionnement des capteurs optiques 145
B.5 Instructions de maintenance 147
Annexe C (normative) Paramètres du courant d'arc 148
C.1 Généralités 148
C.2 Différentes phases d'un arc 148
C.3 Détection de l'amorçage d'arc (t_0) 149
C.4 Continuité de l'arc 151
C.5 Détection de l'extinction d'arc 151
C.5.1 Généralités 151
C.5.2 Dispositif d'extinction 151
C.5.3 Dispositif par coupure du courant 151
C.6 Moyens de mesure 151
C.7 Cohérence des formes d'onde 152
Annexe D (informative) Mesurages optiques concernant l'IACD 153
D.1 Généralités 153

D.1.1 Généralités 153
D.1.2 Photométrie – Le point de vue de l'apparence 153
D.1.3 Radiométrie – Le point de vue technique 153
D.2 Les différentes unités optiques 154
D.2.1 Généralités 154
D.2.2 La fonction de luminosité 154
D.2.3 Utilisation de la fonction de luminosité 155
D.3 Mesurage de la lumière 158
D.3.1 Utilisation d'un luxmètre 158
D.3.2 Utilisation d'un spectromètre 158
D.3.3 Fonctionnement du spectromètre 159
D.3.4 Étalonnage 160
D.3.5 Étalonnage de l'irradiance absolue 162
D.3.6 Fonctionnement du luxmètre 162
D.3.7 Étalonnage du luxmètre 163
D.3.8 Comparaison entre les luxmètres et les spectromètres 164
D.4 Mesurage de la sensibilité et de la largeur de bande des capteurs optiques d'un IACD 164
Annexe E (normative) Essais d'immunité à la lumière ambiante 167
E.1 Généralités 167
E.2 Méthode d'essai 168
E.2.1 Principe 168
E.2.2 Installation et configuration de l'IACD 168
E.2.3 Conditions d'environnement 169
E.2.4 Exigences pour la source lumineuse 169
E.2.5 Exigences pour le luxmètre 170
E.2.6 Méthode d'étalonnage et d'essai 170
E.2.7 Rapport d'essai 172
Annexe F (informative) Points faisant l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur 173
Bibliographie 174

Figure 1 – Schéma IACD optique (type autonome, sans capteur secondaire) 95
Figure 2 – Vue d'ensemble de l'architecture d'un IACD de type autonome 101
Figure 3 – Vue d'ensemble de l'architecture d'un IACD de type multifonction 102
Figure 4 – Vue d'ensemble de l'architecture d'un IACD de type combiné 102
Figure 5 – Architecture (matérielle) d'un IACD de type autonome 112
Figure 6 – Architecture (matérielle) d'un IACD de type multifonction 113
Figure 7 – Essais de détection sous basse énergie - Principe du montage 118
Figure 8 – Méthode d'essai 121
Figure 9 – Essais de détection et d'extinction sous haute énergie – Principe de montage 122
Figure A.1 – Schéma de l'enceinte d'essai d'arc 131
Figure A.2 – Principe de positionnement (cas d'essai d'un capteur ponctuel) 135
Figure A.3 – Principe de positionnement (cas d'essai de la fibre optique) 137
Figure B.1 – Principe du montage triphasé bord à bord (type autonome ou multifonction, vue de dessus) 138

Figure B.2 – Principe du montage triphasé en face à face (type autonome ou multifonction, vue de dessus) 139
Figure B.3 – Principe du montage triphasé bord à bord (type combiné en série, vue de dessus) 140
Figure B.4 – Principe du montage triphasé en face à face (type combiné en série, vue de dessus) 141
Figure B.5 – Principe du montage triphasé bord à bord (type combiné en parallèle, vue de dessus) 142
Figure B.6 – Principe du montage triphasé en face à face (type combiné en parallèle, vue de dessus) 143
Figure B.7 – Positionnement du capteur optique en fonction de l'arc 146
Figure C.1 – Détection de l'amorçage d'arc 150
Figure C.2 – Exemple d'essai non valable dû à un arc intempestif provoqué par une mauvaise connexion du fil d'amorçage 152
Figure D.1 – Fonction de luminosité (ou courbe $\upsilon(\lambda)$) décrivant la sensibilité de l'œil humain 155
Figure D.2 – Exemple de spectre d'irradiance absolue mesuré à partir d'un à partir d'un arc de 5 kA (en valeur efficace), 60 Hz entre deux barres de cuivre 157
Figure D.3 – Intégrales résultant de l'éclairement, Φ_V, et de l'irradiance, Φ_e, produites à partir des données d'arc mesurées tirées de la Figure D.2 157
Figure D.4 – Schéma fonctionnel d'un circuit de luxmètre type 158
Figure D.5 – Exemple de mesurage de l'irradiance spectrale à partir d'une lumière fluorescente compacte 159
Figure D.6 – Composants de base d'un spectromètre 160
Figure D.7 – Émissions calculées d'un émetteur de Planck à 2 500 K, courbe, $\upsilon(\lambda)$ et le chevauchement résultant 162
Figure D.8 – Banc d'étalonnage des luxmètres 163
Figure D.9 – Exemples d'irradiance spectrale mesurée à une distance de 50 cm entre spectromètre et source lumineuse 165
Figure D.10 – Exemples d'irradiance spectrale comparant une source lumineuse au xénon permanente à une source lumineuse xénon pulsée 166
Figure E.1 – Étalonnage du système pour 2 000 lx 168
Figure E.2 – Valeurs lues par le luxmètre pour une lampe QTH à 207 W (6,50 A à 31,8 V) à différentes distances entre le luxmètre et la source lumineuse 171
Figure E.3 – Montage d'essai pour les IACD équipés d'un capteur ponctuel 171
Figure E.4 – Montage d'essai pour les IACD équipés d'un capteur à fibres optiques 172

Tableau 1 – Marquages et indications pour un IACD [d] 105
Tableau 2 – Conditions d'essai pour l'essai au fil incandescent 108
Tableau 3 – Séquences d'essais pour les IACD de type autonome ou multifonction 111
Tableau 4 – Séquences d'essais pour les IACD de type combiné 111
Tableau 5 – Conditions générales des essais sous haute énergie 123
Tableau 6 − CEM − Essais d'émission 125
Tableau 7 – Paramètres de l'essai de résistance d'isolement 126
Tableau 8 – Paramètres de l'essai aux vibrations 126
Tableau A.1 – Caractéristiques du circuit d'essai 132
Tableau A.2 – Spécifications du fil d'amorçage 132

Tableau A.3 – Paramètres de l'arc 133
Tableau A.4 – Conditions d’environnement 133
Tableau A.5 – Valeurs de positionnement des capteurs ponctuels 135
Tableau A.6 – Valeurs de positionnement des capteurs à fibres optiques 136
Tableau B.1 – Caractéristiques du circuit d’essai 144
Tableau B.2 – Valeurs électriques de l’arc 144
Tableau B.3 – Conditions d’environnement 145
Tableau B.4 – Valeurs de positionnement des capteurs ponctuels 146
Tableau B5 – Valeurs de positionnement des capteurs à fibres optiques 147
Tableau B.6 – Maintenance autorisée 147
Tableau C.1 – Phases principales d’un défaut d’arc 148
Tableau D.1 – Quelques unités et définitions photométriques et radiométriques 154
Tableau E.1 – Valeurs minimales de lumière ambiante pour des lieux de travail spécifiques 167

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

APPAREILLAGE À BASSE TENSION –

Partie 9-2: Systèmes actifs de limitation des défauts d'arc – Dispositifs optiques de détection et de limitation d'arcs internes

AVANT-PROPOS

1) La Commission Électrotechnique 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. À 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.

L'IEC 60947-9-2 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. Il s'agit d'une Norme internationale.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
121A/406/FDIS	121A/417/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Le comité a décidé que le contenu de ce document 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 au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer ce document en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

L’appareillage à basse tension, ainsi que les dispositifs complémentaires de protection et de mesure, sont essentiellement installés dans des ensembles conformes à la série IEC 61439 et/ou à d’autres séries, la série IEC 61439 spécifiant des règles et exigences pour les caractéristiques d’interface, les conditions d’emploi, la construction, les performances et la vérification des ensembles.

Le principal objectif de ces normes est de garantir un fonctionnement sûr des ensembles d’appareillage à basse tension dans des conditions d’exploitation normales et anormales, par exemple en cas de surtensions, de courants de surcharge ou de courants de court-circuit .

Le cas d’un défaut d’arc à l’intérieur d’un ensemble à basse tension est pris en considération dans les publications suivantes:

– l'IEC TR 61641, qui spécifie les exigences d’essai pour les ensembles d’appareillage sous défaut d’arc interne;
– l'IEC TR 61439-0:2013, qui identifie, dans son Annexe C, le confinement des défauts d’arc;
– l'IEC TS 63107, qui spécifie les essais permettant de vérifier la bonne intégration des systèmes de limitation de défaut d'arc interne dans les ensembles d'appareillage de puissance (ensembles EAP) conformément à l'IEC 61439-2.

L’apparition d’un arc interne ne peut être complètement exclue, même dans un ensemble de classe I conforme à l’IEC TR 61641. Les défauts d’arc interne sont généralement dus aux causes suivantes:

– matériaux conducteurs oubliés par inadvertance à l'intérieur de l'équipement lors de la fabrication, l’installation ou la maintenance;
– défauts de matériau ou de fabrication;
– contact accidentel avec un conducteur sous tension;
– entrée de petits animaux, par exemple des souris, des serpents, des fourmis, etc.;
– utilisation d’un ensemble non adapté à l’application, qui provoque une surchauffe et, à terme, un défaut d’arc interne;
– conditions anormales d’exploitation (par exemple, présence d’eau, de champignons ou de poussière);
– fonctionnement incorrect; ou,
– manque de maintenance ou maintenance inappropriée (pièces desserrées, peintures, etc.).

La présence d’un arc à l’intérieur d’ensembles sous enveloppe est liée à différents phénomènes physiques. Par exemple, l'énergie d'arc résultant d'un arc développé dans l'air à la pression atmosphérique à l'intérieur de l'enveloppe cause une surpression interne et une surchauffe locale qui provoquent dans l'ensemble des contraintes mécaniques et thermiques. De plus, les matériaux concernés peuvent générer des produits de décomposition à chaud, sous forme de gaz, de métaux ou de vapeurs, qui peuvent s’échapper à l'extérieur de l'enveloppe.

En raison du risque de blessure aux personnes, de dommages et de perte d’alimentation par suite des défauts d’arc interne, il y a une demande croissante de dispositifs de mesure et de limitation des défauts d’arc interne. C’est la raison pour laquelle certaines normes ont été développées pour donner des spécifications comprenant le protocole d'essai et les critères d'acceptation pour les dispositifs correspondants. Les effets des défauts d’arc peuvent être considérablement réduits par des systèmes actifs de limitation des défauts d’arc, associant une détection rapide du défaut d’arc interne et des actions connexes sur les dispositifs de protection contre les courts-circuits et/ou les dispositifs par extinction complémentaires. L’utilisation de tels dispositifs peut donc avoir pour conséquence:

– une réduction de l’énergie incidente/libérée;

– une réduction des interruptions de l’alimentation/de la durée d'indisponibilité (en réduisant le plus possible les dommages aux équipements sous enveloppe, aux appareillages ainsi qu'aux autres dispositifs de mesure et de protection);

– la limitation des effets secondaires à d’autres systèmes, en raison de la compacité élevée et sans cesse croissante des appareils installés.

Le présent document a pour objet de couvrir les appareils et les fonctions destinés à:

– détecter un défaut d’arc interne dans un ensemble par traitement de ses effets optiques, et indiquer par des signaux et déclencher les dispositifs destinés à limiter le défaut d’arc interne, et

– détecter par traitement de ses effets optiques un défaut d’arc interne, et limiter l'impact du défaut d’arc interne par son extinction.

NOTE Même lorsque les deux termes se rapportent à des ensembles dans lesquels un arc se produit entre des conducteurs, le terme "arc-flash" est principalement utilisé dans les normes NFPA 70E, CSA Z462 et IEEE 1584 et décrit généralement les effets de l’exposition directe des travailleurs à l'énergie thermique émise, tandis que le terme "défaut d’arc interne", tel qu’il est utilisé dans le présent document, décrit les phénomènes de flux de gaz chauds pouvant occasionner des dommages corporels aux personnes à proximité du courant d’arc.

APPAREILLAGE À BASSE TENSION –

Partie 9-2: Systèmes actifs de limitation des défauts d'arc – Dispositifs optiques de détection et de limitation d'arcs internes

1 Domaine d'application

Le présent document s'applique aux dispositifs de contrôle de défaut d'arc interne, ci-après désignés IACD, qui sont destinés à:

– détecter les défauts d'arc interne dans les ensembles d'appareillage à basse tension, en traitant (a minima) le phénomène optique d'un défaut d'arc interne, et

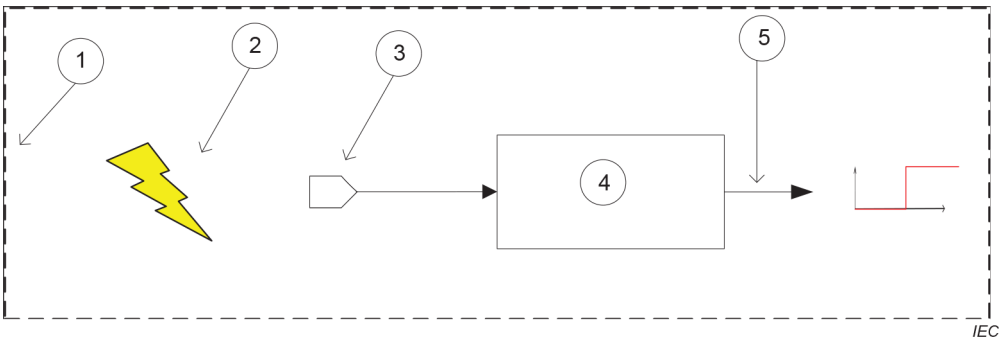
– faire fonctionner un dispositif de limitation (externe ou combiné)

afin de réduire le plus possible les effets de défaut d'arc interne (voir la Figure 1).

Pour les besoins du présent document, le terme "lumière" ou "optique" couvre plus que les spectres visibles. Ces termes peuvent également couvrir, par exemple, les rayonnements électromagnétiques infrarouges ou ultraviolets (voir l'Annexe D).

Pour les IACD de type combiné, le présent document est pris en considération en complément de la norme de produit applicable aux dispositifs de réduction de défaut d'arc interne (IARD selon l'IEC TS 63107:2020). La conformité à la norme de produit applicable est obligatoire et ne peut pas être seulement déclarée par des essais effectués selon le présent document.

NOTE 1 En général, la série IEC 61439 décrit les ensembles d'appareillage à basse tension.



NOTE Cette figure représente un schéma IACD simplifié avec un seul capteur optique et sans aucun autre moyen de mesure qui peut être utilisé pour la confirmation d'un défaut d'arc, tel que la mesure de courant.

Légende

1 enveloppe de l'ensemble

2 défaut d'arc interne

3 capteur optique

4 unité de traitement

5 sortie de déclenchement utilisée pour faire fonctionner, par exemple, un dispositif de limitation

Figure 1 – Schéma IACD optique (type autonome, sans capteur secondaire)

Le présent document couvre donc les dispositifs suivants:

– les dispositifs de contrôle de défaut d'arc interne (autonomes, multifonctions ou combinés);
– un ou plusieurs capteurs associés utilisés pour mesurer le phénomène optique du défaut d'arc interne;
– capteur(s), détectant un autre effet physique, pour confirmer le défaut;
– un dispositif de limitation associé ou combiné.

Un IACD n'est pas destiné à se déclencher en cas de fonctionnement normal d'un appareillage à basse tension (c'est-à-dire en l'absence d'un défaut d'arc interne), y compris en cas d'arc électrique normal associé au fonctionnement des appareils de déconnexion et de connexion.

Le présent document ne couvre que les méthodes suivantes:

– la détection optique de la lumière générée par un défaut d'arc interne;
– la confirmation facultative du défaut d'arc interne par le mesurage du courant de ligne.

De nombreux matériaux conducteurs de nature différente peuvent être utilisés dans les ensembles BT (par exemple, l'acier, le cuivre, l'aluminium). Néanmoins, les essais spécifiés dans le présent document sont considérés comme représentant les conditions les plus défavorables et les plus complexes pour la détection d'arc, et couvrent toutes les combinaisons de matériaux.

NOTE 2 Le cuivre, par rapport à d'autres matériaux (par exemple, l'acier, l'aluminium), génère une énergie de rayonnement optique plus faible.

La tension assignée de l'ensemble dans lequel est installé un IACD ne dépasse pas 1 000 V en courant alternatif.

Ces dispositifs sont conçus pour être utilisés et entretenus par des personnes qualifiées uniquement.

Le présent document ne couvre pas:

– la détection et la limitation des défauts d'arc interne en courant continu;
– les relais de surintensité;
– les dispositifs de détection de défaut d'arc (AFDD) tels que définis par l'IEC 62606;
– les recommandations relatives à l'installation dans les ensembles;

NOTE 3 L'intégration d'un IACD dans un ensemble est décrite dans l'IEC TS 63107.

– l'utilisation avec des mesures supplémentaires nécessaires à l'installation et au fonctionnement dans les atmosphères explosives. Ces dernières sont spécifiées dans les documents de la série IEC 60079;
– les exigences relatives aux règles de conception des logiciels et des micrologiciels intégrés; à ce sujet, le fabricant est responsable de la prise en charge de mesures de sécurité supplémentaires;

NOTE 4 L'IEC TR 63201 décrit les règles de conception des logiciels et des micrologiciels intégrés afin de prévenir les erreurs dans les logiciels.

– les aspects de cybersécurité: à ce sujet, le fabricant est responsable de la prise en charge de mesures de sécurité supplémentaires;

NOTE 5 Voir l'IEC TS 63208.

– les applications mobiles.

NOTE 6 Le présent document, même en ce qui concerne les dispositifs de limitation de défaut d'arc interne, ne remplace aucune autre norme de produit applicable (par exemple, l'IEC 60947-2 ou l'IEC 60947-9-1).

NOTE 7 Les phénomènes de défaut d'arc en courant continu sont à l'étude. Des investigations complémentaires sont nécessaires pour comprendre les phénomènes d'arcs électriques en courant continu et les mesures exigées.

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 60068-2-6:2007, *Essais d'environnement – Partie 2-6: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

IEC 60068-2-27:2008, *Essais d'environnement – Partie 2-27: Essais – Essai Ea et guide: Chocs*

IEC 60068-2-30:2005*, Essais d'environnement – Partie 2-30: Essais – Essai Db: Essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12 h + 12 h)*

IEC 60255-27:2013, *Relais de mesure et dispositifs de protection – Partie 27: Exigences de sécurité*

IEC 60695-2-10, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-10: Essais au fil incandescent/chauffant – Appareillage et méthode commune d'essai*

IEC 60695-2-11:2014, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-11: Essais au fil incandescent/chauffant – Méthode d'essai d'inflammabilité pour produits finis (GWEPT)*

IEC 60695-2-12, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-12: Essais au fil incandescent/chauffant – Méthode d'essai d'indice d'inflammabilité au fil incandescent (GWFI) pour matériaux*

IEC 60715:2017, *Dimensions de l'appareillage à basse tension – Montage normalisé sur profilés-supports pour le support mécanique des appareillages et de leurs accessoires*

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

IEC 60947-2:2016, *Appareillage à basse tension – Partie 2: Disjoncteurs*
IEC 60947-2:2016/AMD1:2019

IEC 60947-9-1:2019, *Appareillage à basse tension – Partie 9-1: Systèmes actifs de limitation des défauts d'arc – Dispositifs d'extinction d'arc*

IEC 60990:2016, *Méthodes de mesure du courant de contact et du courant dans le conducteur de protection*

IEC 61482-1-2:2014, *Travaux sous tension – Vêtements de protection contre les dangers thermiques d'un arc électrique – Partie 1-2: Méthodes d'essai – Méthode 2: Détermination de la classe de protection contre l'arc de matériaux et de vêtements au moyen d'un arc dirigé et contraint (enceinte d'essai)*

IEC 61557-2, *Sécurité électrique dans les réseaux de distribution basse tension au plus égale à 1 000 V c.a. et 1 500 V c.c. – Dispositifs de contrôle, de mesure ou de surveillance de mesures de protection – Partie 2: Résistance d'isolement*

CISPR 11:2015, *Appareils industriels, scientifiques et médicaux – Caractéristiques de perturbations radioélectriques – Limites et méthodes de mesure*
CISPR 11:2015/AMD1:2016

CISPR 32:2015, *Compatibilité électromagnétique des équipements multimédia – Exigences d'émission*

ISO 3864-1:2011, *Symboles graphiques – Couleurs de sécurité et signaux de sécurité – Partie 1: Principes de conception pour les signaux de sécurité et les marquages de sécurité*

ISO 3864-2:2016, *Symboles graphiques – Couleurs de sécurité et signaux de sécurité – Partie 2: Principes de conception pour l'étiquetage de sécurité des produits*