

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Safety of machinery – Electrical equipment of machines –
Part 1: General requirements**

**Sécurité des machines – Equipement électrique des machines –
Partie 1: Règles générales**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Safety of machinery – Electrical equipment of machines –
Part 1: General requirements**

**Sécurité des machines – Equipement électrique des machines –
Partie 1: Règles générales**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

CONTENTS

FOREWORD.....	6
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	11
2 Normative references.....	12
3 Definitions	14
4 General requirements	21
4.1 General considerations	21
4.2 Selection of equipment	22
4.3 Electrical supply	23
4.4 Physical environment and operating conditions	24
4.5 Transportation and storage	26
4.6 Provisions for handling	26
4.7 Installation.....	26
5 Incoming supply conductor terminations and devices for disconnecting and switching off	26
5.1 Incoming supply conductor terminations.....	26
5.2 Terminal for connection to the external protective earthing system	27
5.3 Supply disconnecting (isolating) device	27
5.4 Devices for switching off for prevention of unexpected start-up.....	30
5.5 Devices for disconnecting electrical equipment	30
5.6 Protection against unauthorized, inadvertent and/or mistaken connection.....	31
6 Protection against electric shock.....	31
6.1 General.....	31
6.2 Protection against direct contact	31
6.3 Protection against indirect contact	34
6.4 Protection by the use of PELV.....	35
7 Protection of equipment.....	36
7.1 General.....	36
7.2 Overcurrent protection	36
7.3 Protection of motors against overheating	39
7.4 Abnormal temperature protection	40
7.5 Protection against supply interruption or voltage reduction and subsequent restoration	40
7.6 Motor overspeed protection.....	41
7.7 Earth fault/residual current protection.....	41
7.8 Phase sequence protection.....	41
7.9 Protection against overvoltages due to lightning and to switching surges	41
8 Equipotential bonding	41
8.1 General.....	41
8.2 Protective bonding circuit.....	44
8.3 Functional bonding	47
8.4 Measures to limit the effects of high leakage current	47

9	Control circuits and control functions.....	47
9.1	Control circuits	47
9.2	Control functions	48
9.3	Protective interlocks	53
9.4	Control functions in the event of failure	54
10	Operator interface and machine-mounted control devices.....	58
10.1	General	58
10.2	Push-buttons	59
10.3	Indicator lights and displays	61
10.4	Illuminated push-buttons	62
10.5	Rotary control devices	62
10.6	Start devices	62
10.7	Emergency stop devices	62
10.8	Emergency switching off devices	63
10.9	Enabling control device	64
11	Controlgear: location, mounting, and enclosures	64
11.1	General requirements	64
11.2	Location and mounting	64
11.3	Degrees of protection	66
11.4	Enclosures, doors and openings	66
11.5	Access to controlgear	67
12	Conductors and cables	68
12.1	General requirements	68
12.2	Conductors	68
12.3	Insulation	69
12.4	Current-carrying capacity in normal service	69
12.5	Conductor and cable voltage drop	70
12.6	Flexible cables	71
12.7	Conductor wires, conductor bars and slip-ring assemblies	72
13	Wiring practices	74
13.1	Connections and routing	74
13.2	Identification of conductors	75
13.3	Wiring inside enclosures	77
13.4	Wiring outside enclosures	77
13.5	Ducts, connection boxes and other boxes	80
14	Electric motors and associated equipment	82
14.1	General requirements	82
14.2	Motor enclosures	83
14.3	Motor dimensions	83
14.4	Motor mounting and compartments	83
14.5	Criteria for motor selection	83
14.6	Protective devices for mechanical brakes	84
15	Accessories and lighting	84
15.1	Accessories	84
15.2	Local lighting of the machine and equipment	84

16	Marking, warning signs and reference designations	85
16.1	General	85
16.2	Warning signs	86
16.3	Functional identification	86
16.4	Marking of equipment	86
16.5	Reference designations	87
17	Technical documentation	87
17.1	General	87
17.2	Information to be provided	87
17.3	Requirements applicable to all documentation	88
17.4	Installation documents	88
17.5	Overview diagrams and function diagrams	89
17.6	Circuit diagrams	89
17.7	Operating manual	90
17.8	Maintenance manual	90
17.9	Parts list	90
18	Verification	90
18.1	General	90
18.2	Verification of conditions for protection by automatic disconnection of supply	91
18.3	Insulation resistance tests	94
18.4	Voltage tests	95
18.5	Protection against residual voltages	95
18.6	Functional tests	95
18.7	Retesting	95
	Annex A (normative) Protection against indirect contact in TN-systems	96
	Annex B (informative) Enquiry form for the electrical equipment of machines	100
	Annex C (informative) Examples of machines covered by this part of IEC 60204	104
	Annex D (informative) Current-carrying capacity and overcurrent protection of conductors and cables in the electrical equipment of machines	106
	Annex E (informative) Explanation of emergency operation functions	112
	Annex F (informative) Guide for the use of this part of IEC 60204	113
	Annex G (informative) Comparison of typical conductor cross-sectional areas	115
	Bibliography	117
	Index	119
	Figure 1 – Block diagram of a typical machine	10
	Figure 2 – Example of equipotential bonding for electrical equipment of a machine	43
	Figure 3 – Method a)	57
	Figure 4 – Method b)	57
	Figure A.1 – Typical arrangement for fault loop impedance measurement	99
	Figure D.1 – Methods of conductor and cable installation independent of number of conductors/cables	107
	Figure D.2 – Parameters of conductors and protective devices	109

Table 1 – Minimum cross-sectional area of the external protective copper conductor	27
Table 2 – Colour-coding for push-button actuators and their meanings	60
Table 3 – Symbols for push-buttons	60
Table 4 – Colours for indicator lights and their meanings with respect to the condition of the machine	61
Table 5 – Minimum cross-sectional areas of copper conductors	68
Table 6 – Examples of current-carrying capacity (I_Z) of PVC insulated copper conductors or cables under steady-state conditions in an ambient air temperature of +40 °C for different methods of installation	70
Table 7 – Derating factors for cables wound on drums	72
Table 8 – Minimum permitted bending radii for the forced guiding of flexible cables	79
Table 9 – Application of the test methods for TN-systems	93
Table 10 – Examples of maximum cable length from each protective device to its load	94
Table A.1 – Maximum disconnecting times for TN systems	96
Table D.1 – Correction factors	106
Table D.2 – Derating factors from I_Z for grouping	108
Table D.3 – Derating factors from I_Z for multicore cables up to 10 mm ²	108
Table D.4 – Classification of conductors	109
Table D.5 – Maximum allowable conductor temperatures under normal and short-circuit conditions	110
Table F.1 – Application options	114
Table G.1 – Comparison of conductor sizes	115

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SAFETY OF MACHINERY – ELECTRICAL EQUIPMENT OF MACHINES –

Part 1: General requirements

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 60204-1 has been prepared by technical committee 44: Safety of machinery – Electrotechnical aspects.

This edition constitutes a technical revision. It incorporates material from the fourth edition, amended to provide general requirements for machines, including mobile machines and complex (for example large) machine installations.

This consolidated version of IEC 60204-1 consists of the fifth edition (2005) [documents 44/494/FDIS and 44/502/RVD] and its amendment 1 (2008) [documents 44/575/CDV and 44/580/RVC].

The technical content is therefore identical to the base edition and its amendment and has been prepared for user convenience.

It bears the edition number 5.1.

A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1.

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

The following differences exist in some countries:

- 4.3.1: The voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems in Europe are given in EN 50160:1999.
- 5.1: Exception is not allowed (USA).
- 5.1: TN-C systems are not permitted in low-voltage installations in buildings (Norway).
- 5.2: Terminals for the connection of the protective earthing conductors may be identified by the colour green, the letters "G" or "GR" or "GRD" or "GND", or the word "ground" or "grounding", or with the graphical symbol IEC 60417-5019 (DB: 2002-10) or any combination (USA).
- 6.3.3 b), 13.4.5 b), 18.2.1: TT power systems are not allowed (USA).
- 7.2.3: Disconnection of the neutral conductor is mandatory in a TN-S system (France and Norway).
- 7.2.3: Third paragraph: distribution of a neutral conductor with an IT system is not allowed (USA and Norway).
- 9.1.2: Maximum nominal a.c. control circuit voltage is 120 V (USA).
- 12.2: Only stranded conductors are allowed on machines, except for 0,2 mm² solid conductors within enclosures (USA).
- 12.2: The smallest power circuit conductor allowed on machines is 0,82 mm² (AWG 18) in multiconductor cables or in enclosures (USA).
- Table 5: Cross-sectional area is specified in ANSI/NFPA 79 using American Wire Gauge (AWG) (USA). See Annex G.
- 13.2.2: For the protective conductor, the colour identification GREEN (with or without YELLOW stripes) is used as equivalent to the bicolour combination GREEN-AND-YELLOW (USA and Canada).
- 13.2.3: The colour identification WHITE or GREY is used for earthed neutral conductors instead of the colour identification BLUE (USA and Canada).
- 15.2.2: First paragraph: Maximum value between conductors 150 V (USA).
- 15.2.2: 2nd paragraph, 5th bullet: The full load current rating of lighting circuits does not exceed 15 A (USA).
- 16.4: Nameplate marking requirements (USA).

IEC 60204 consists of the following parts, under the general title *Safety of machinery – Electrical equipment of machines*:

- Part 1: General requirements
- Part 11: Requirements for HV equipment for voltages above 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c. and not exceeding 36 kV
- Part 31: Particular safety and EMC requirements for sewing machines, units and systems
- Part 32: Requirements for hoisting machines
- Part 33: Particular requirements for semiconductor manufacturing equipment¹

¹ Under consideration.

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendments will remain unchanged until the maintenance result 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60204-1:2005+AMD1:2008 CSV

Withdrawn

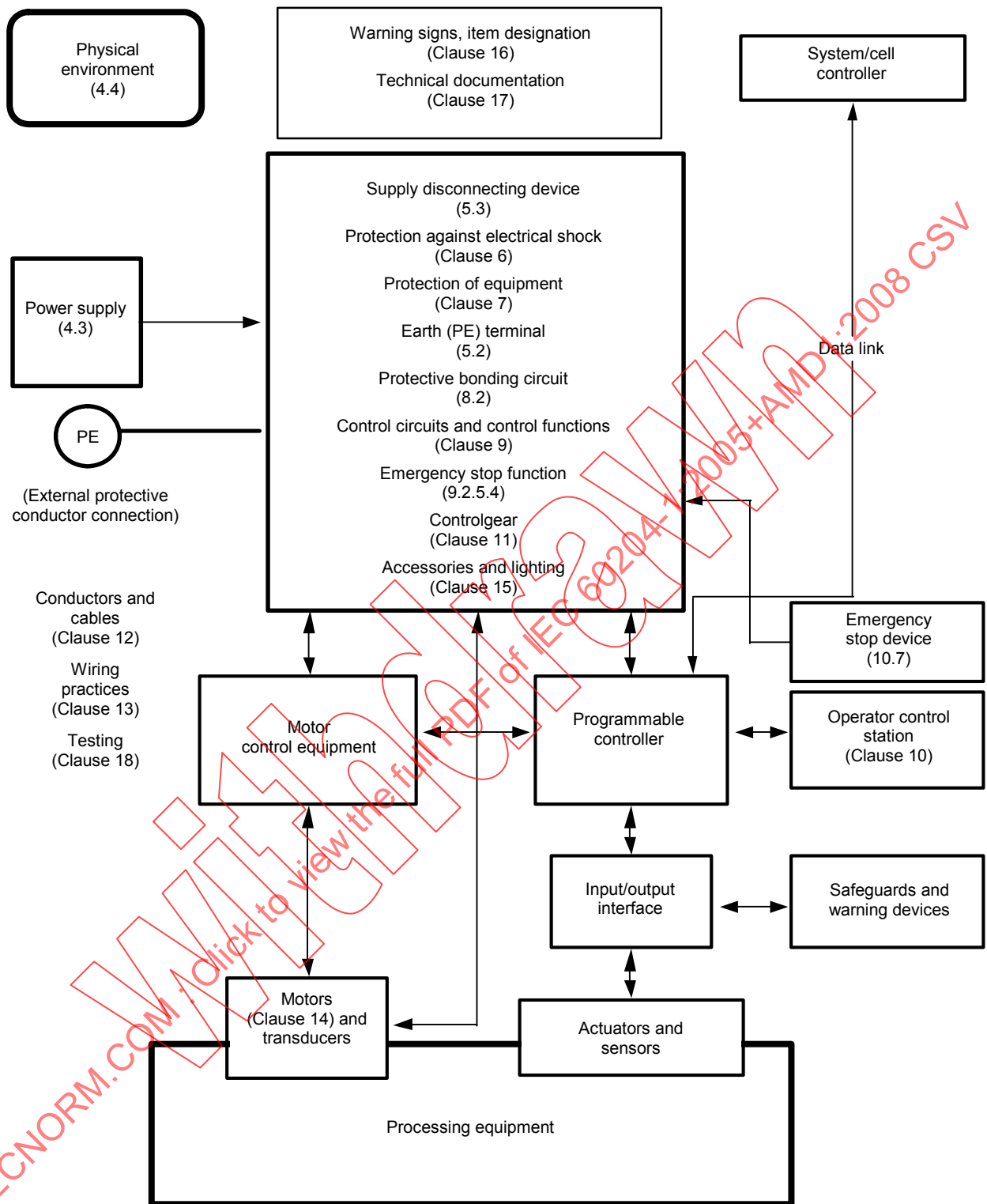
INTRODUCTION

This part of IEC 60204 provides requirements and recommendations relating to the electrical equipment of machines so as to promote:

- safety of persons and property;
- consistency of control response;
- ease of maintenance.

More guidance on the use of this part of IEC 60204 is given in Annex F.

Figure 1 has been provided as an aid to the understanding of the inter-relationship of the various elements of a machine and its associated equipment. Figure 1 is a block diagram of a typical machine and associated equipment showing the various elements of the electrical equipment addressed in this part of IEC 60204. Numbers in parentheses () refer to Clauses and Subclauses in this part of IEC 60204. It is understood in Figure 1 that all of the elements taken together including the safeguards, tooling/fixtures, software, and the documentation, constitute the machine, and that one or more machines working together with usually at least one level of supervisory control constitute a manufacturing cell or system.



IEC 1388/05

Figure 1 – Block diagram of a typical machine

SAFETY OF MACHINERY – ELECTRICAL EQUIPMENT OF MACHINES –

Part 1: General requirements

1 Scope

This part of IEC 60204 applies to the application of electrical, electronic and programmable electronic equipment and systems to machines not portable by hand while working, including a group of machines working together in a co-ordinated manner.

NOTE 1 This part of IEC 60204 is an application standard and is not intended to limit or inhibit technological advancement.

NOTE 2 In this part of IEC 60204, the term *electrical* includes electrical, electronic and programmable electronic matters (i.e. *electrical equipment* means electrical, electronic and programmable electronic equipment).

NOTE 3 In the context of this part of IEC 60204, the term *person* refers to any individual and includes those persons who are assigned and instructed by the user or his agent(s) in the use and care of the machine in question.

The equipment covered by this part of IEC 60204 commences at the point of connection of the supply to the electrical equipment of the machine (see 5.1).

NOTE 4 The requirements for the electrical supply installation in buildings are given in the IEC 60364 series.

This part of IEC 60204 is applicable to the electrical equipment or parts of the electrical equipment that operate with nominal supply voltages not exceeding 1 000 V for alternating current (a.c.) and not exceeding 1 500 V for direct current (d.c.), and with nominal supply frequencies not exceeding 200 Hz.

NOTE 5 For higher voltages, see IEC 60204-11.

This part of IEC 60204 does not cover all the requirements (for example guarding, interlocking, or control) that are needed or required by other standards or regulations in order to protect persons from hazards other than electrical hazards. Each type of machine has unique requirements to be accommodated to provide adequate safety.

This part specifically includes, but is not limited to, the electrical equipment of machines as defined in 3.35.

NOTE 6 Annex C lists examples of machines whose electrical equipment can be covered by this part of IEC 60204.

This part of IEC 60204 does not specify additional and special requirements that can apply to the electrical equipment of machines that, for example:

- are intended for use in open air (i.e. outside buildings or other protective structures);
- use, process, or produce potentially explosive material (for example paint or sawdust);
- are intended for use in potentially explosive and/or flammable atmospheres;
- have special risks when producing or using certain materials;
- are intended for use in mines;

- are sewing machines, units, and systems (which are covered by IEC 60204-31);
- are hoisting machines (which are covered by IEC 60204-32).

Power circuits where electrical energy is directly used as a working tool are excluded from this part of IEC 60204.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this part of IEC 60204. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

IEC 60034-5, *Rotating electrical machines – Part 5: Degrees of protection provided by the integral design of rotating electrical machines (IP code) – Classification*

IEC 60034-11, *Rotating electrical machines – Part 11: Thermal protection*

IEC 60072-1, *Dimensions and output series for rotating electrical machines – Part 1: Frame numbers 56 to 400 and flange numbers 55 to 1 080*

IEC 60072-2, *Dimensions and output series for rotating electrical machines – Part 2: Frame numbers 355 to 1 000 and flange numbers 1 180 to 2 360*

IEC 60073:2002, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Coding principles for indicators and actuators*

IEC 60309-1:1999, *Plugs, socket-outlets, and couplers for industrial purposes – Part 1: General requirements*

IEC 60364-4-41:2005, *Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock*

IEC 60364-4-43:2001, *Electrical installations of buildings – Part 4-43: Protection for safety – Protection against overcurrent*

IEC 60364-5-52:2001, *Electrical installations of buildings – Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems*

IEC 60364-5-53:2002, *Electrical installations of buildings – Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment – Isolation, switching and control*

IEC 60364-5-54:2002, *Electrical installations of buildings – Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements, protective conductors and protective bonding conductors*

IEC 60364-6-61:2001, *Electrical installations of buildings – Part 6-61: Verification – Initial verification*

IEC 60417-DB:2002², *Graphical symbols for use on equipment*

² “DB” refers to the IEC on-line database.

IEC 60439-1:1999, *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: Type-tested and partially type-tested assemblies*

IEC 60445:1999, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Identification of equipment terminals and of terminations of certain designated conductors, including general rules for an alphanumeric system*

IEC 60446:1999, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Identification of conductors by colours or numerals*

IEC 60447:2004, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Man-machine interface (MMI) – Actuating principles*

IEC 60529:1999, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*
Amendment 1 (2001)

IEC 60617-DB:2001³, *Graphical symbols for diagrams*

IEC 60621-3:1979, *Electrical installations for outdoor sites under heavy conditions (including open-cast mines and quarries) – Part 3: General requirements for equipment and ancillaries*

IEC 60664-1:1992, *Insulation co-ordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 60947-1:2004, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules*

IEC 60947-2:2003, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 2: Circuit-breakers*

IEC 60947-3:1999, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 3: Switches, disconnectors, switch-disconnectors, and fuse combination units*

IEC 60947-5-1:2003, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 5-1: Control circuit devices and switching elements – Electromechanical control circuit devices*

IEC 60947-7-1:2002, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 7-1: Ancillary equipment – Terminal blocks for copper conductors*

IEC 61082-1:1991, *Preparation of documents used in electrotechnology – Part 1: General requirements*

IEC 61082-2:1993, *Preparation of documents used in electrotechnology – Part 2: Function-oriented diagrams*

IEC 61082-3:1993, *Preparation of documents used in electrotechnology – Part 3: Connection diagrams, tables and lists*

IEC 61082-4:1996, *Preparation of documents used in electrotechnology – Part 4: Location and installation documents*

IEC 61140:2001, *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment*

IEC 61310 (all parts), *Safety of machinery – Indication, marking and actuation*

IEC 61346 (all parts), *Industrial systems, installations and equipment and industrial products – Structuring principles and reference designations*

³ "DB" refers to the IEC on-line database.

IEC 61557-3:1997, *Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1000 V a.c. and 1500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 3: Loop impedance*

IEC 61558-1:1997, *Safety of power transformers, power supply units and similar – Part 1: General requirements and tests*
Amendment 1 (1998)

IEC 61558-2-6, *Safety of power transformers, power supply units and similar – Part 2-6: Particular requirements for safety isolating transformers for general use*

IEC 61984:2001, *Connectors – Safety requirements and tests*

IEC 62023:2000, *Structuring of technical information and documentation*

IEC 62027:2000, *Preparation of parts lists*

IEC 62061:2005, *Safety of machinery – Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems*

IEC 62079:2001, *Preparation of instructions – Structuring, content and presentation*

ISO 7000:2004, *Graphical symbols for use on equipment – Index and synopsis*

ISO 12100-1:2003, *Safety of machinery – Basic concepts, general principles for design – Part 1: Basic terminology, methodology*

ISO 12100-2:2003, *Safety of machinery – Basic concepts, general principles for design – Part 2: Technical principles*

ISO 13849-1:2006, *Safety of machinery – Safety-related parts of control systems – Part 1: General principles for design*

ISO 13849-2:2003, *Safety of machinery – Safety-related parts of control systems – Part 2: Validation*

ISO 13850:2006, *Safety of machinery – Emergency stop – Principles for design*

3 Terms and definitions

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

3.1

actuator

part of a device to which an external manual action is to be applied

NOTE 1 The actuator may take the form of a handle, knob, push-button, roller, plunger, etc.

NOTE 2 There are some actuating means that do not require an external actuating force, but only an action.

NOTE 3 See also 3.34.

3.2

ambient temperature

temperature of the air or other medium where the equipment is to be used

3.3

barrier

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

3.4**cable tray**

cable support consisting of a continuous base and raised edges and no covering

NOTE A cable tray may be perforated or non-perforated.

[IEV 826-15-08]

3.5**cable trunking system**

system of closed enclosures comprising a base with a removable cover intended for the complete surrounding of insulated conductors, cables, cords and for the accommodation of other electrical equipment

3.6**concurrent**

acting in conjunction; used to describe a situation wherein two or more control devices exist in an actuated condition at the same time (but not necessarily synchronously)

3.7**conduit**

part of a closed wiring system of circular or non-circular cross-section for insulated conductors and/or cables in electrical installations, allowing them to be drawn in and/or replaced

NOTE Conduits should be sufficiently close-jointed so that the insulated conductors and/or cables can only be drawn in and not inserted laterally.

[IEV 826-06-03]

3.8**control circuit (of a machine)**

circuit used for the control, including monitoring, of a machine and the electrical equipment

3.9**control device**

device connected into the control circuit and used for controlling the operation of the machine (for example position sensor, manual control switch, relay, contactor, magnetically operated valve)

3.10**controlgear**

switching devices and their combination with associated control, measuring, protective, and regulating equipment, also assemblies of such devices and equipment with associated interconnections, accessories, enclosures, and supporting structures, intended in principle for the control of electrical energy consuming equipment

[IEV 441-11-03, modified]

3.11**controlled stop**

stopping of machine motion with electrical power to the machine actuators maintained during the stopping process

3.12**direct contact**

contact of persons or livestock with live parts

[IEV 826-12-03]

3.13

direct opening action (of a contact element)

achievement of contact separation as the direct result of a specified movement of the switch actuator through non-resilient members (for example not dependent upon springs)

[IEC 60947-5-1, K.2.2]

3.14

duct

enclosed channel designed expressly for holding and protecting electrical conductors, cables, and busbars

NOTE Conduits (see 3.7), cable trunking systems (see 3.5) and underfloor channels are types of duct.

3.15

electrical operating area

room or location for electrical equipment to which access is intended to be restricted to skilled or instructed persons, by the opening of a door or the removal of a barrier without the use of a key or tool, and which is clearly marked by appropriate warning signs

3.16

electronic equipment

part of the electrical equipment containing circuitry dependent for its operation on electronic devices and components

3.17

emergency stop device

manually actuated control device used to initiate an emergency stop function

[ISO 13850, 3.2]

NOTE See Annex E.

3.18

emergency switching off device

manually actuated control device used to switch off the supply of electrical energy to all or a part of an installation where a risk of electric shock or another risk of electrical origin is involved

NOTE See Annex E.

3.19

enclosed electrical operating area

room or location for electrical equipment to which access is intended to be restricted to skilled or instructed persons by the opening of a door or the removal of a barrier by the use of a key or tool and which is clearly marked by appropriate warning signs

3.20

enclosure

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

NOTE The definition taken from the existing IEC needs the following explanations within the scope of this part of IEC 60204:

- a) Enclosures provide protection of persons or livestock against access to hazardous parts.

- b) Barriers, shaped openings, or any other means suitable to prevent or limit the penetration of the specified test probes, whether attached to the enclosure or formed by the enclosed equipment, are considered as part of the enclosure, except where they can be removed without the use of a key or tool.
- c) An enclosure may be:
- a cabinet or box, either mounted on the machine or separate from the machine;
 - a compartment consisting of an enclosed space within the machine structure.

3.21

equipment

material, fittings, devices, components, appliances, fixtures, apparatus, and the like used as part of, or in connection with, the electrical equipment of machines

3.22

equipotential bonding

provision of electric connections between conductive parts, intended to achieve equipotentiality

[IEV 195-1-10]

3.23

exposed conductive part

conductive part of electrical equipment, which can be touched and which is not live under normal operating conditions, but which can become live under fault conditions

[IEV 826-12-10, modified]

3.24

extraneous conductive part

conductive part not forming part of the electrical installation and liable to introduce a potential, generally the earth potential

[IEV 826-12-11, modified]

3.25

failure

termination of the ability of an item to perform a required function

NOTE 1 After failure, the item has a fault.

NOTE 2 "Failure" is an event, as distinguished from "fault", which is a state.

NOTE 3 This concept as defined does not apply to items consisting of software only.

[IEV 191-04-01]

NOTE 4 In practice, the terms fault and failure are often used synonymously.

3.26

fault

state of an item characterized by inability to perform a required function, excluding the inability during preventive maintenance or other planned actions, or due to lack of external resources

NOTE 1 A fault is often the result of a failure of the item itself, but may exist without prior failure.

NOTE 2 In English, the term "fault" and its definition are identical with those given in IEC 191-05-01. In the field of machinery, the French term "défaut" and the German term "Fehler" are used rather than the terms "panne" and "Fehlzustand" that appear with this definition.

3.27

functional bonding

equipotential bonding necessary for proper functioning of electrical equipment

3.28

hazard

potential source of physical injury or damage to health

NOTE 1 The term hazard can be qualified in order to define its origin (for example, mechanical hazard, electrical hazard) or the nature of the potential harm (for example, electric shock hazard, cutting hazard, toxic hazard, fire hazard).

NOTE 2 The hazard envisaged in this definition:

- either is permanently present during the intended use of the machine (for example motion of hazardous moving elements, electric arc during a welding phase, unhealthy posture, noise emission, high temperature);
- or can appear unexpectedly (for example: explosion, crushing hazard as a consequence of an unintended/unexpected start-up, ejection as a consequence of a breakage, fall as a consequence of acceleration/deceleration).

[ISO 12100-1, 3.6, modified]

3.29

indirect contact

contact of persons or livestock with exposed conductive parts which have become live under fault conditions

[IEV 826-12-04, modified]

3.30

inductive power supply system

system of inductive power transfer, consisting of a track converter and a track conductor, along which one or more pick-up(s) and associated pick-up converter(s) can move, without any galvanic or mechanical contact, in order to transfer electrical power for example to a mobile machine

NOTE The track conductor and the pick-up are analogous to the primary and secondary of a transformer respectively.

3.31

(electrically) instructed person

person adequately advised or supervised by an electrically skilled person to enable him or her to perceive risks and to avoid hazards which electricity can create

[IEV 826-18-02, modified]

3.32

interlock (for safeguarding)

arrangement that interconnects guard(s) or device(s) with the control system and/or all or part of the electrical supply to the machine

3.33

live part

conductor or conductive part intended to be energized in normal use, including a neutral conductor, but, by convention, not a PEN conductor

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

3.34**machine actuator**

power mechanism used to effect motion of the machine

3.35**machinery****machine**

assembly of linked parts or components, at least one of which moves, with the appropriate machine actuators, control and power circuits, joined together for a specific application, in particular for the processing, treatment, moving or packaging of a material.

The term "machinery" also covers an assembly of machines which, in order to achieve the same end, are arranged and controlled so that they function as an integral whole

[ISO 12100-1, 3.1, modified]

NOTE The term "component" is used here in a general sense and it does not refer only to electrical components.

3.36**marking**

signs or inscriptions primarily for the purpose of identifying equipment, components and/or devices, which can include certain features thereof

3.37**neutral conductor****N**

conductor connected to the neutral point of a system and capable of contributing to the transmission of electrical energy

[IEV 826-14-07, modified]

3.38**obstacle**

part preventing unintentional direct contact, but not preventing direct contact by deliberate action

3.39**overcurrent**

current exceeding the rated value. For conductors, the rated value is the current-carrying capacity

[IEV 826-11-14, modified]

3.40**overload (of a circuit)**

time/current relationship in a circuit which is in excess of the rated full load of the circuit when the circuit is not under a fault condition

NOTE *Overload* should not be used as a synonym for *overcurrent*.

3.41**plug/socket combination**

component and a suitable mating component, appropriate to terminate conductors, intended for connection or disconnection of two or more conductors

NOTE Examples of plug/socket combination include:

- connectors which fulfil the requirements of IEC 61984;
- a plug and socket-outlet, a cable coupler, or an appliance coupler in accordance with IEC 60309-1;
- a plug and socket-outlet in accordance with IEC 60884-1 or an appliance coupler in accordance with IEC 60320-1.

3.42

power circuit

circuit that supplies power from the supply network to units of equipment used for productive operation and to transformers supplying control circuits

3.43

protective bonding

equipotential bonding for protection against electric shock

NOTE Measures for protection against electric shock can also reduce the risk of burns or fire.

3.44

protective bonding circuit

protective conductors and conductive parts connected together to provide protection against electric shock in the event of an insulation failure

3.45

protective conductor

conductor required for protective bonding by some measures for protection against electric shock for electrically connecting any of the following parts:

- exposed conductive parts;
- extraneous conductive parts;
- main earthing terminal (PE)

[IEV 826-13-22, modified]

3.46

redundancy

application of more than one device or system, or part of a device or system, with the objective of ensuring that in the event of one failing to perform its function, another is available to perform that function

3.47

reference designation

distinctive code which serves to identify an object in the documentation and on the equipment

NOTE ???

3.48

risk

combination of the probability of occurrence of harm (i.e. physical injury or damage to health) and the severity of that harm

[ISO 12100-1, 3.11, modified]

3.49

safeguard

guard or protective device provided as a means to protect persons from a hazard

3.50

safeguarding

protective measure using safeguards to protect persons from the hazards which cannot reasonably be eliminated or from the risks which cannot be sufficiently reduced by inherently safe design measures

[ISO 12100-1, 3.20]

3.51**servicing level**

level on which persons stand when operating or maintaining the electrical equipment

3.52**short-circuit current**

overcurrent resulting from a short circuit due to a fault or an incorrect connection in an electric circuit

[IEV 441-11-07]

3.53**(electrically) skilled person**

person with relevant training, education and experience to enable him or her to perceive risks and to avoid hazards associated with electricity

[IEV 826-18-01, modified]

3.54**supplier**

entity (for example manufacturer, contractor, installer, integrator) who provides equipment or services associated with the machine

NOTE The user organization may also act in the capacity of a supplier to itself.

3.55**switching device**

device designed to make and/or break the current in one or more electric circuits

[IEV 441-14-01, modified]

NOTE A switching device may perform one or both of these actions.

3.56**uncontrolled stop**

stopping of machine motion by removing electrical power to the machine actuators

NOTE This definition does not imply any particular state of other stopping devices, for example mechanical or hydraulic brakes.

3.57**user**

entity who utilizes the machine and its associated electrical equipment

4 General requirements**4.1 General**

This part of IEC 60204 is intended to apply to electrical equipment used with a wide variety of machines and with a group of machines working together in a co-ordinated manner.

The risks associated with the hazards relevant to the electrical equipment shall be assessed as part of the overall requirements for risk assessment of the machine. This will determine the adequate risk reduction, and the necessary protective measures for persons who can be exposed to those hazards, while still maintaining an acceptable level of performance of the machine and its equipment.

Hazardous situations can result from, but are not limited to, the following causes:

- failures or faults in the electrical equipment resulting in the possibility of electric shock or electrical fire;
- failures or faults in control circuits (or components and devices associated with those circuits) resulting in the malfunctioning of the machine;
- disturbances or disruptions in power sources as well as failures or faults in the power circuits resulting in the malfunctioning of the machine;
- loss of continuity of circuits that depend upon sliding or rolling contacts, resulting in a failure of a safety function;
- electrical disturbances for example, electromagnetic, electrostatic either from outside the electrical equipment or internally generated, resulting in the malfunctioning of the machine;
- release of stored energy (either electrical or mechanical) resulting in, for example, electric shock, unexpected movement that can cause injury;
- audible noise at levels that cause health problems to persons;
- surface temperatures that can cause injury.

Safety measures are a combination of the measures incorporated at the design stage and those measures required to be implemented by the user.

The design and development process shall identify hazards and the risks arising from them. Where the hazards cannot be removed and/or the risks cannot be sufficiently reduced by inherently safe design measures, protective measures (for example safeguarding,) shall be provided to reduce the risk. Additional means (for example, awareness means) shall be provided where further risk reduction is necessary. In addition, working procedures that reduce risk can be necessary.

The use of the enquiry form as shown in Annex B of this part of IEC 60204 is recommended in order to facilitate an appropriate agreement between the user and the supplier(s) on basic conditions and additional user specifications related to the electrical equipment. Those additional specifications are to:

- provide additional features that are dependent on the type of machine (or group of machines) and the application;
- facilitate maintenance and repair; and
- improve the reliability and ease of operation.

4.2 Selection of equipment

4.2.1 General

Electrical components and devices shall:

- be suitable for their intended use; and
- conform to relevant IEC standards where such exist; and
- be applied in accordance with the supplier's instructions.

4.2.2 Electrical equipment in compliance with the IEC 60439 series

The electrical equipment of the machine shall satisfy the safety requirements identified by the risk assessment of the machine. Depending upon the machine, its intended use and its electrical equipment, the designer may select parts of the electrical equipment of the machine that are in compliance with relevant parts of the IEC 60439 series (see also Annex F).

NOTE The IEC 60439 series specifies requirements for equipment covering a wide range of possible applications of low-voltage switchgear and controlgear assemblies.

4.3 Electrical supply

4.3.1 General

The electrical equipment shall be designed to operate correctly with the conditions of the supply:

- as specified in 4.3.2 or 4.3.3, or
- as otherwise specified by the user (see Annex B), or
- as specified by the supplier in the case of a special source of supply such as an on-board generator.

4.3.2 AC supplies

Voltage	Steady state voltage: 0,9 to 1,1 of nominal voltage.
Frequency	0,99 to 1,01 of nominal frequency continuously; 0,98 to 1,02 short time.
Harmonics	Harmonic distortion not exceeding 10 % of the total r.m.s. voltage between live conductors for the sum of the 2 nd through to the 5 th harmonic. An additional 2 % of the total r.m.s. voltage between live conductors for the sum of the 6 th through to the 30 th harmonic is permissible.
Voltage unbalance	Neither the voltage of the negative sequence component nor the voltage of the zero sequence component in three-phase supplies exceeding 2 % of the positive sequence component.
Voltage interruption	Supply interrupted or at zero voltage for not more than 3 ms at any random time in the supply cycle with more than 1 s between successive interruptions.
Voltage dips	Voltage dips not exceeding 20 % of the peak voltage of the supply for more than one cycle with more than 1 s between successive dips.

4.3.3 DC supplies

From batteries:

Voltage	0,85 to 1,15 of nominal voltage; 0,7 to 1,2 of nominal voltage in the case of battery-operated vehicles.
Voltage interruption	Not exceeding 5 ms.

From converting equipment:

Voltage	0,9 to 1,1 of nominal voltage.
Voltage interruption	Not exceeding 20 ms with more than 1 s between successive interruptions.

NOTE This is a variation to IEC Guide 106 to ensure proper operation of electronic equipment.

Ripple (peak-to-peak) Not exceeding 0,15 of nominal voltage.

4.3.4 Special supply systems

For special supply systems such as on-board generators, the limits given in 4.3.2 and 4.3.3 may be exceeded provided that the equipment is designed to operate correctly with those conditions.

4.4 Physical environment and operating conditions

4.4.1 General

The electrical equipment shall be suitable for the physical environment and operating conditions of its intended use. The requirements of 4.4.2 to 4.4.8 cover the physical environment and operating conditions of the majority of machines covered by this part of IEC 60204. When special conditions apply or the limits specified are exceeded, an agreement between user and supplier (see 4.1) can be necessary.

4.4.2 Electromagnetic compatibility (EMC)

The equipment shall not generate electromagnetic disturbances above levels that are appropriate for its intended operating environment. In addition, the equipment shall have a level of immunity to electromagnetic disturbances so that it can function in its intended environment.

NOTE 1 The generic EMC standards IEC 61000-6-1 or IEC 61000-6-2 and CISPR 61000-6-3 or IEC 61000-6-4 give general EMC emission and immunity limits.

NOTE 2 IEC 61000-5-2 gives guidelines for earthing and cabling of electrical and electronic systems aimed at ensuring EMC. If specific product standards exist (for example, IEC 61496-1, IEC 61800-3, IEC 60947-5-2) they take precedence over generic standards.

Measures to limit the generation of electromagnetic disturbances, i.e. conducted and radiated emissions include:

- power supply filtering;
- cable shielding;
- enclosures designed to minimize RF radiation;
- RF suppression techniques.

Measures to enhance the immunity of the equipment against conducted and radiated RF disturbance include:

- design of functional bonding system taking into account the following:
 - connection of sensitive electrical circuits to the chassis. Such terminations should be marked or labelled with the symbol IEC 60417-5020 (DB:2002-10):



- connection of the chassis to earth (PE) using a conductor with low RF impedance and as short as practicable;
- connection of sensitive electrical equipment or circuits directly to the PE circuit or to a functional earthing conductor (FE) (see Figure 2), to minimize common mode disturbance. This latter terminal should be marked or labelled by the symbol IEC 60417-5018 (DB:2002-10):



- separation of sensitive circuits from disturbance sources;
- enclosures designed to minimize RF transmission;
- EMC wiring practices:
 - using twisted conductors to reduce the effect of differential mode disturbances,
 - keeping sufficient distance between conductors emitting disturbances and conductors of sensitive circuits,
 - using cable orientation as close to 90° as possible when cables cross,
 - running the conductors as close as possible to the ground plane,
 - using electrostatic screens and/or electromagnetic shields with a low RF impedance termination.

4.4.3 Ambient air temperature

Electrical equipment shall be capable of operating correctly in the intended ambient air temperature. The minimum requirement for all electrical equipment is correct operation between air temperatures of +5 °C and +40 °C. For very hot environments (for example hot climates, steel mills, paper mills) and for cold environments, extra requirements can be necessary (see Annex B).

4.4.4 Humidity

The electrical equipment shall be capable of operating correctly when the relative humidity does not exceed 50 % at a maximum temperature of +40 °C. Higher relative humidities are permitted at lower temperatures (for example 90 % at 20 °C).

Harmful effects of occasional condensation shall be avoided by design of the equipment or, where necessary, by additional measures (for example built-in heaters, air conditioners, drain holes).

4.4.5 Altitude

Electrical equipment shall be capable of operating correctly at altitudes up to 1 000 m above mean sea level.

4.4.6 Contaminants

Electrical equipment shall be adequately protected against the ingress of solids and liquids (see 11.3).

The electrical equipment shall be adequately protected against contaminants (for example dust, acids, corrosive gases, salts) that can be present in the physical environment in which the electrical equipment is to be installed (see Annex B).

4.4.7 Ionizing and non-ionizing radiation

When equipment is subject to radiation (for example microwave, ultraviolet, lasers, X-rays), additional measures shall be taken to avoid malfunctioning of the equipment and accelerated deterioration of the insulation. A special agreement can be necessary between the supplier and the user (see Annex B).

4.4.8 Vibration, shock, and bump

Undesirable effects of vibration, shock and bump (including those generated by the machine and its associated equipment and those created by the physical environment) shall be avoided by the selection of suitable equipment, by mounting it away from the machine, or by provision of anti-vibration mountings. A special agreement can be necessary between the supplier and the user (see Annex B).

4.5 Transportation and storage

Electrical equipment shall be designed to withstand, or suitable precautions shall be taken to protect against, the effects of transportation and storage temperatures within a range of -25°C to $+55^{\circ}\text{C}$ and for short periods not exceeding 24 h at up to $+70^{\circ}\text{C}$. Suitable means shall be provided to prevent damage from humidity, vibration, and shock. A special agreement can be necessary between the supplier and the user (see Annex B).

NOTE Electrical equipment susceptible to damage at low temperatures includes PVC insulated cables.

4.6 Provisions for handling

Heavy and bulky electrical equipment that has to be removed from the machine for transport, or that is independent of the machine, shall be provided with suitable means for handling by cranes or similar equipment.

4.7 Installation

Electrical equipment shall be installed in accordance with the electrical equipment supplier's instructions.

5 Incoming supply conductor terminations and devices for disconnecting and switching off

5.1 Incoming supply conductor terminations

It is recommended that, where practicable, the electrical equipment of a machine is connected to a single incoming supply. Where another supply is necessary for certain parts of the equipment (for example, electronic equipment that operates at a different voltage), that supply should be derived, as far as is practicable, from devices (for example, transformers, converters) forming part of the electrical equipment of the machine. For large complex machinery comprising a number of widely-spaced machines working together in a co-ordinated manner, there can be a need for more than one incoming supply depending upon the site supply arrangements (see 5.3.1).

Unless a plug is provided with the machine for the connection to the supply (see 5.3.2 e), it is recommended that the supply conductors are terminated at the supply disconnecting device.

Where a neutral conductor is used it shall be clearly indicated in the technical documentation of the machine, such as in the installation diagram and in the circuit diagram, and a separate insulated terminal, labelled **N** in accordance with 16.1, shall be provided for the neutral conductor (see also Annex B).

There shall be no connection between the neutral conductor and the protective bonding circuit inside the electrical equipment nor shall a combined PEN terminal be provided.

Exception: a connection may be made between the neutral terminal and the PE terminal at the point of the connection of the power supply to the machine for TN-C systems.

All terminals for the incoming supply connection shall be clearly identified in accordance with IEC 60445 and 16.1. For the identification of the external protective conductor terminal, see 5.2.

5.2 Terminal for connection to the external protective earthing system

For each incoming supply, a terminal shall be provided in the vicinity of the associated phase conductor terminals for connection of the machine to the external protective earthing system or to the external protective conductor, depending upon the supply distribution system.

The terminal shall be of such a size as to enable the connection of an external protective copper conductor with a cross-sectional area in accordance with Table 1.

Table 1 – Minimum cross-sectional area of the external protective copper conductor

Cross-sectional area of copper phase conductors supplying the equipment $S \text{ mm}^2$	Minimum cross-sectional area of the external protective copper conductor $S_p \text{ mm}^2$
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

Where an external protective conductor of a material other than copper is used, the terminal size shall be selected accordingly (see also 8.2.2).

At each incoming supply point, the terminal for connection of the external protective earthing system or the external protective conductor shall be marked or labelled with the letters **PE** (see IEC 60445).

5.3 Supply disconnecting (isolating) device

5.3.1 General

A supply disconnecting device shall be provided:

- for each incoming source of supply to a machine(s);

NOTE The incoming supply can be connected directly to the machine or via a feeder system. Feeder systems of machines can include conductor wires, conductor bars, slip-ring assemblies, flexible cable systems (reeled, festooned) or inductive power supply systems.

- for each on-board power supply.

The supply disconnecting device shall disconnect (isolate) the electrical equipment of the machine from the supply when required (for example for work on the machine, including the electrical equipment).

When two or more supply disconnecting devices are provided, protective interlocks for their correct operation shall also be provided in order to prevent a hazardous situation, including damage to the machine or to the work in progress.

5.3.2 Type

The supply disconnecting device shall be one of the following types:

- a) switch-disconnector, with or without fuses, in accordance with IEC 60947-3, utilization category AC-23B or DC-23B;
- b) disconnector, with or without fuses, in accordance with IEC 60947-3, that has an auxiliary contact that in all cases causes switching devices to break the load circuit before the opening of the main contacts of the disconnector;
- c) a circuit-breaker suitable for isolation in accordance with IEC 60947-2;
- d) any other switching device in accordance with an IEC product standard for that device and which meets the isolation requirements of IEC 60947-1 as well as a utilization category defined in the product standard as appropriate for on-load switching of motors or other inductive loads;
- e) a plug/socket combination for a flexible cable supply.

5.3.3 Requirements

When the supply disconnecting device is one of the types specified in 5.3.2 a) to d) it shall fulfil all of the following requirements:

- isolate the electrical equipment from the supply and have one OFF (isolated) and one ON position marked with "O" and "I" (symbols IEC 60417-5008 (DB:2002-10) and IEC 60417-5007 (DB:2002-10), see 10.2.2);
- have a visible contact gap or a position indicator which cannot indicate OFF (isolated) until all contacts are actually open and the requirements for the isolating function have been satisfied;
- have an external operating means (for example handle), (**exception:** power-operated switchgear need not be operable from outside the enclosure where there are other means to open it). Where the external operating means is not intended for emergency operations, it is recommended that it be coloured BLACK or GREY (see 10.7.4 and 10.8.4);
- be provided with a means permitting it to be locked in the OFF (isolated) position (for example by padlocks). When so locked, remote as well as local closing shall be prevented;
- disconnect all live conductors of its power supply circuit. However, for TN supply systems, the neutral conductor may or may not be disconnected except in countries where disconnection of the neutral conductor (when used) is compulsory;
- have a breaking capacity sufficient to interrupt the current of the largest motor when stalled together with the sum of the normal running currents of all other motors and/or loads. The calculated breaking capacity may be reduced by the use of a proven diversity factor.

When the supply disconnecting device is a plug/socket combination, it shall fulfil the following requirements:

- have the switching capability, or be interlocked with a switching device that has a breaking capacity, sufficient to interrupt the current of the largest motor when stalled together with the sum of the normal running currents of all other motors and/or loads. The calculated breaking capacity may be reduced by the use of a proven diversity factor. When the interlocked switching device is electrically operated (for example a contactor) it shall have an appropriate utilisation category.
- a) to f) of 13.4.5.

NOTE A suitably rated plug and socket-outlet, cable coupler, or appliance coupler, in accordance with IEC 60309-1 can fulfil these requirements.

Where the supply disconnecting device is a plug/socket combination, a switching device with an appropriate utilisation category shall be provided for switching the machine on and off. This can be achieved by the use of the interlocked switching device described above.

5.3.4 Operating means

The operating means (for example, a handle) of the supply disconnecting device shall be easily accessible and located between 0,6 m and 1,9 m above the servicing level. An upper limit of 1,7 m is recommended.

NOTE The direction of operation is given in IEC 61310-3.

5.3.5 Excepted circuits

The following circuits need not be disconnected by the supply disconnecting device:

- lighting circuits for lighting needed during maintenance or repair;
- plug and socket outlets for the exclusive connection of repair or maintenance tools and equipment (for example hand drills, test equipment);
- undervoltage protection circuits that are only provided for automatic tripping in the event of supply failure;
- circuits supplying equipment that should normally remain energized for correct operation (for example temperature controlled measuring devices, product (work in progress) heaters, program storage devices);
- control circuits for interlocking.

It is recommended, however, that such circuits be provided with their own disconnecting device.

Where such a circuit is not disconnected by the supply disconnecting device:

- permanent warning label(s) in accordance with 16.1 shall be appropriately placed in proximity to the supply disconnecting device;
- a corresponding statement shall be included in the maintenance manual, and one or more of the following shall apply;
 - a permanent warning label in accordance with 16.1 is affixed in proximity to each excepted circuit, or
 - the excepted circuit is separated from other circuits, or
 - the conductors are identified by colour taking into account the recommendation of 13.2.4.

5.4 Devices for switching off for prevention of unexpected start-up

Devices for switching off for the prevention of unexpected start-up shall be provided (for example where, during maintenance, a start-up of the machine or part of the machine can create a hazard).

Such devices shall be appropriate and convenient for the intended use, shall be suitably placed, and readily identifiable as to their function and purpose (for example by a durable marking in accordance with 16.1 where necessary).

NOTE 1 This part of IEC 60204 does not address all provisions for prevention of unexpected start up. See ISO 14118 (EN 1037).

Means shall be provided to prevent inadvertent and/or mistaken closure of these devices either at the controller or from other locations (see also 5.6).

The following devices that fulfil the isolation function may be provided for this purpose:

- devices described in 5.3.2,
- disconnectors, withdrawable fuse links and withdrawable links only if located in an enclosed electrical operating area (see 3.19).

Devices that do not fulfil the isolation function (for example a contactor switched off by a control circuit) may only be provided where intended to be used for situations that include:

- inspections;
- adjustments;
- work on the electrical equipment where:
 - there is no hazard arising from electric shock (see Clause 6) and burn;
 - the switching off means remains effective throughout the work;
 - the work is of a minor nature (for example replacement of plug-in devices without disturbing existing wiring).

NOTE 2 The selection of a device will be dependent on the risk assessment, taking into account the intended use of the device, for example, the use of disconnectors, withdrawable fuse links or withdrawable links located in enclosed electrical operating areas can be inappropriate for use by cleaners (see 17.2 b)12)).

5.5 Devices for disconnecting electrical equipment

Devices shall be provided for disconnecting (isolating) electrical equipment to enable work to be carried out when it is de-energised and isolated. Such devices shall be:

- appropriate and convenient for the intended use;
- suitably placed;
- readily identifiable as to which part(s) or circuit(s) of the equipment is served (for example by durable marking in accordance with 16.1 where necessary).

Means shall be provided to prevent inadvertent and/or mistaken closure of these devices either at the controller or from other locations (see also 5.6).

The supply disconnecting device (see 5.3) may, in some cases, fulfil that function. However, where it is necessary to work on individual parts of the electrical equipment of a machine, or on one of a number of machines fed by a common conductor bar, conductor wire or inductive power supply system, a disconnecting device shall be provided for each part, or for each machine, requiring separate isolation.

In addition to the supply disconnecting device, the following devices that fulfil the isolation function may be provided for this purpose:

- devices described in 5.3.2;
- disconnectors, withdrawable fuse links and withdrawable links only if located in an electrical operating area (see 3.15) and relevant information is provided with the electrical equipment (see 17.2 b)9) and b)12)).

NOTE Where protection against electric shock is provided in accordance with 6.2.2 c), withdrawable fuse links or withdrawable links for this purpose are intended for use by skilled or instructed persons.

5.6 Protection against unauthorized, inadvertent and/or mistaken connection

The devices described in 5.4 and 5.5 that are located outside an enclosed electrical operating area shall be equipped with means to secure them in the OFF position (disconnected state), (for example by provisions for padlocking, trapped key interlocking). When so secured, remote as well as local reconnection shall be prevented.

Where a non-lockable disconnecting device (for example withdrawable fuse-links, withdrawable links) other means of protection against reconnection (for example warning labels in accordance with 16.1) may be provided.

However, when a plug/socket combination according to 5.3.2 e) is so positioned that it can be kept under the immediate supervision of the person carrying out the work, means for securing in the disconnected state need not be provided.

6 Protection against electric shock

6.1 General

The electrical equipment shall provide protection of persons against electric shock from:

- direct contact (see 6.2 and 6.4);
- indirect contact (see 6.3 and 6.4).

The measures for this protection given in 6.2, 6.3, and, for PELV, in 6.4, are a recommended selection from IEC 60364-4-41. Where those recommended measures are not practicable, for example due to the physical or operational conditions, other measures from IEC 60364-4-41 may be used.

6.2 Protection against direct contact

6.2.1 General

For each circuit or part of the electrical equipment, the measures of either 6.2.2 or 6.2.3 and, where applicable, 6.2.4 shall be applied.

Exception: where those measures are not appropriate, other measures for protection against direct contact (for example by using barriers, by placing out of reach, using obstacles, using construction or installation techniques that prevent access) as defined in IEC 60364-4-41 may be applied (see 6.2.5 and 6.2.6).

When the equipment is located in places open to all persons, which can include children, measures of either 6.2.2 with a minimum degree of protection against direct contact corresponding to IP4X or IPXXD (see IEC 60529), or 6.2.3 shall be applied.

6.2.2 Protection by enclosures

Live parts shall be located inside enclosures that conform to the relevant requirements of Clauses 4, 11, and 14 and that provide protection against direct contact of at least IP2X or IPXXB (see IEC 60529).

Where the top surfaces of the enclosure are readily accessible, the minimum degree of protection against direct contact provided by the top surfaces shall be IP4X or IPXXD.

Opening an enclosure (i.e. opening doors, lids, covers, and the like) shall be possible only under one of the following conditions:

- a) The use of a key or tool is necessary for access. For enclosed electrical operating areas, see IEC 60364-4-41, or IEC 60439-1 as appropriate.

NOTE 1 The use of a key or tool is intended to restrict access to skilled or instructed persons (see 17.2 b)12)).

All live parts, that are likely to be touched when resetting or adjusting devices intended for such operations while the equipment is still connected, shall be protected against direct contact to at least IP2X or IPXXB. Other live parts on the inside of doors shall be protected against direct contact to at least IP1X or IPXXA.

- b) The disconnection of live parts inside the enclosure before the enclosure can be opened.

This may be accomplished by interlocking the door with a disconnecting device (for example, the supply disconnecting device) so that the door can only be opened when the disconnecting device is open and so that the disconnecting device can only be closed when the door is closed.

Exception: a special device or tool as prescribed by the supplier can be used to defeat the interlock provided that:

- it is possible at all times while the interlock is defeated to open the disconnecting device and lock the disconnecting device in the OFF (isolated) position or otherwise prevent unauthorised closure of the disconnecting device;
- upon closing the door, the interlock is automatically restored;
- all live parts, that are likely to be touched when resetting or adjusting devices intended for such operations while the equipment is still connected, are protected against direct contact to at least IP2X or IPXXB and other live parts on the inside of doors are protected against direct contact to at least IP1X or IPXXA;
- relevant information is provided with the electrical equipment (see 17.2 b)9) and b)12)).

NOTE 2 The special device or tool is intended for use only by skilled or instructed persons (see 17.2 b)12)).

Means shall be provided to restrict access to live parts behind doors not directly interlocked with the disconnecting means to skilled or instructed persons. (See 17.2 b)12)).

All parts that are still live after switching off the disconnecting device(s) (see 5.3.5) shall be protected against direct contact to at least IP2X or IPXXB (see IEC 60529). Such parts shall be marked with a warning sign in accordance with 16.2.1 (see also 13.2.4 for identification of conductors by colour).

Excepted from this requirement for marking are:

- parts that can be live only because of connection to interlocking circuits and that are distinguished by colour as potentially live in accordance with 13.2.4;
 - the supply terminals of the supply disconnecting device when the latter is mounted alone in a separate enclosure.
- c) Opening without the use of a key or a tool and without disconnection of live parts shall be possible only when all live parts are protected against direct contact to at least IP2X or IPXXB (see IEC 60529). Where barriers provide this protection, either they shall require a tool for their removal or all live parts protected by them shall be automatically disconnected when the barrier is removed.

NOTE 3 Where protection against direct contact is achieved in accordance with 6.2.2 c), and a hazard can be caused by manual actuation of devices (for example manual closing of contactors or relays), such actuation should be prevented by barriers or obstacles that require a tool for their removal.

6.2.3 Protection by insulation of live parts

Live parts protected by insulation shall be completely covered with insulation that can only be removed by destruction. Such insulation shall be capable of withstanding the mechanical, chemical, electrical, and thermal stresses to which it can be subjected under normal operating conditions.

NOTE Paints, varnishes, lacquers, and similar products alone are generally considered to be inadequate for protection against electric shock under normal operating conditions.

6.2.4 Protection against residual voltages

Live parts having a residual voltage greater than 60 V after the supply has been disconnected shall be discharged to 60 V or less within a time period of 5 s after disconnection of the supply voltage provided that this rate of discharge does not interfere with the proper functioning of the equipment. Exempted from this requirement are components having a stored charge of 60 μC or less. Where this specified rate of discharge would interfere with the proper functioning of the equipment, a durable warning notice drawing attention to the hazard and stating the delay required before the enclosure may be opened shall be displayed at an easily visible location on or immediately adjacent to the enclosure containing the capacitances.

In the case of plugs or similar devices, the withdrawal of which results in the exposure of conductors (for example pins), the discharge time shall not exceed 1 s, otherwise such conductors shall be protected against direct contact to at least IP2X or IPXXB. If neither a discharge time of 1 s nor a protection of at least IP2X or IPXXB can be achieved (for example in the case of removable collectors on conductor wires, conductor bars, or slip-ring assemblies, see 12.7.4), additional switching devices or an appropriate warning device (for example a warning notice in accordance with 16.1) shall be applied.

6.2.5 Protection by barriers

For protection by barriers, 412.2 of IEC 60364-4-41 shall apply.

6.2.6 Protection by placing out of reach or protection by obstacles

For protection by placing out of reach, 412.4 of IEC 60364-4-41 shall apply. For protection by obstacles, 412.3 of IEC 60364-4-41 shall apply.

For conductor wire systems or conductor bar systems with a degree of protection less than IP2X, see 12.7.1.

6.3 Protection against indirect contact

6.3.1 General

Protection against indirect contact (3.29) is intended to prevent hazardous situations due to an insulation fault between live parts and exposed conductive parts.

For each circuit or part of the electrical equipment, at least one of the measures in accordance with 6.3.2 to 6.3.3 shall be applied:

- measures to prevent the occurrence of a touch voltage (6.3.2), or
- automatic disconnection of the supply before the time of contact with a touch voltage can become hazardous (6.3.3).

NOTE 1 The risk of harmful physiological effects from a touch voltage depends on the value of the touch voltage and the duration of possible exposure.

NOTE 2 For classes of equipment and protective provisions, see IEC 61140.

6.3.2 Prevention of the occurrence of a touch voltage

6.3.2.1 General

Measures to prevent the occurrence of a touch voltage include the following:

- provision of class II equipment or by equivalent insulation;
- electrical separation.

6.3.2.2 Protection by provision of class II equipment or by equivalent insulation

This measure is intended to prevent the occurrence of touch voltages on the accessible parts through a fault in the basic insulation.

This protection is provided by one or more of the following:

- class II electrical devices or apparatus (double insulation, reinforced insulation or by equivalent insulation in accordance with IEC 61140);
- switchgear and controlgear assemblies having total insulation in accordance with IEC 60439-1;
- supplementary or reinforced insulation in accordance with 413.2 of IEC 60364-4-41.

6.3.2.3 Protection by electrical separation

Electrical separation of an individual circuit is intended to prevent a touch voltage through contact with exposed conductive parts that can be energized by a fault in the basic insulation of the live parts of that circuit.

For this type of protection, the requirements of 413.5 of IEC 60364-4-41 apply.

6.3.3 Protection by automatic disconnection of supply

This measure consists of the interruption of one or more of the line conductors by the automatic operation of a protective device in case of a fault. This interruption shall occur within a sufficiently short time to limit the duration of a touch voltage to a time within which the touch voltage is not hazardous. Interruption times are given in Annex A.

This measure necessitates co-ordination between:

- the type of supply and earthing system;
- the impedance values of the different elements of the protective bonding system;
- the characteristics of the protective devices that detect insulation fault(s).

Automatic disconnection of the supply of any circuit affected by an insulation fault is intended to prevent a hazardous situation resulting from a touch voltage.

This protective measure comprises both:

- protective bonding of exposed conductive parts (see 8.2.3),
- and either:
 - a) overcurrent protective devices for the automatic disconnection of the supply on detection of an insulation fault in TN systems, or
 - b) residual current protective devices to initiate the automatic disconnection of the supply on detection of an insulation fault from a live part to exposed conductive parts or to earth in TT systems, or
 - c) insulation monitoring or residual current protective devices to initiate automatic disconnection of IT systems. Except where a protective device is provided to interrupt the supply in the case of the first earth fault, an insulation monitoring device shall be provided to indicate the occurrence of a first fault from a live part to exposed conductive parts or to earth. This insulation monitoring device shall initiate an audible and/or visual signal which shall continue as long as the fault persists.

NOTE In large machines, the provision of an earth fault location system can facilitate maintenance.

Where automatic disconnection is provided in accordance with a), and disconnection within the time specified in Clause A.1 cannot be assured, supplementary bonding shall be provided as necessary to meet the requirements of Clause A.3.

6.4 Protection by the use of PELV

6.4.1 General requirements

The use of PELV (Protective Extra-Low Voltage) is to protect persons against electric shock from indirect contact and limited area direct contact (see 8.2.5).

PELV circuits shall satisfy all of the following conditions:

- a) the nominal voltage shall not exceed:
 - 25 V a.c. r.m.s. or 60 V ripple-free d.c. when the equipment is normally used in dry locations and when large area contact of live parts with the human body is not expected; or
 - 6 V a.c. r.m.s. or 15 V ripple-free d.c. in all other cases;

NOTE *Ripple-free* is conventionally defined for a sinusoidal ripple voltage as a ripple content of not more than 10 % r.m.s.

- b) one side of the circuit or one point of the source of the supply of that circuit shall be connected to the protective bonding circuit;
- c) live parts of PELV circuits shall be electrically separated from other live circuits. Electrical separation shall be not less than that required between the primary and secondary circuits of a safety isolating transformer (see IEC 61558-1 and IEC 61558-2-6);
- d) conductors of each PELV circuit shall be physically separated from those of any other circuit. When this requirement is impracticable, the insulation provisions of 13.1.3 shall apply;
- e) plugs and socket-outlets for a PELV circuit shall conform to the following:
 - 1) plugs shall not be able to enter socket-outlets of other voltage systems;
 - 2) socket-outlets shall not admit plugs of other voltage systems.

6.4.2 Sources for PELV

The source for PELV shall be one of the following:

- a safety isolating transformer in accordance with IEC 61558-1 and IEC 61558-2-6;
- a source of current providing a degree of safety equivalent to that of the safety isolating transformer (for example a motor generator with winding providing equivalent isolation);
- an electrochemical source (for example a battery) or another source independent of a higher voltage circuit (for example a diesel-driven generator);
- an electronic power supply conforming to appropriate standards specifying measures to be –taken to ensure that, even in the case of an internal fault, the voltage at the outgoing terminals cannot exceed the values specified in 6.4.1.

7 Protection of equipment

7.1 General

This Clause details the measures to be taken to protect equipment against the effects of:

- overcurrent arising from a short circuit;
- overload and/or loss of cooling of motors;
- abnormal temperature;
- loss of or reduction in the supply voltage;
- overspeed of machines/machine elements;
- earth fault/residual current;
- incorrect phase sequence;
- overvoltage due to lightning and switching surges.

7.2 Overcurrent protection

7.2.1 General

Overcurrent protection shall be provided where the current in a machine circuit can exceed either the rating of any component or the current carrying capacity of the conductors, whichever is the lesser value. The ratings or settings to be selected are detailed in 7.2.10.

7.2.2 Supply conductors

Unless otherwise specified by the user, the supplier of the electrical equipment is not responsible for providing the overcurrent protective device for the supply conductors to the electrical equipment (see Annex B).

The supplier of the electrical equipment shall state on the installation diagram the data necessary for selecting the overcurrent protective device (see 7.2.10 and 17.4).

7.2.3 Power circuits

Devices for detection and interruption of overcurrent, selected in accordance with 7.2.10, shall be applied to each live conductor.

The following conductors, as applicable, shall not be disconnected without disconnecting all associated live conductors:

- the neutral conductor of a.c. power circuits;
- the earthed conductor of d.c. power circuits;
- d.c. power conductors bonded to exposed conductive parts of mobile machines.

Where the cross-sectional area of the neutral conductor is at least equal to or equivalent to that of the phase conductors, it is not necessary to provide overcurrent detection for the neutral conductor nor a disconnecting device for that conductor. For a neutral conductor with a cross-sectional area smaller than that of the associated phase conductors, the measures detailed in 524 of IEC 60364-5-52 shall apply.

In IT systems, it is recommended that the neutral conductor is not used. However, where a neutral conductor is used, the measures detailed in 431.2.2 of IEC 60364-4-43 shall apply.

7.2.4 Control circuits

Conductors of control circuits directly connected to the supply voltage and of circuits supplying control circuit transformers shall be protected against overcurrent in accordance with 7.2.3.

Conductors of control circuits supplied by a control circuit transformer or d.c. supply shall be protected against overcurrent (see also 9.4.3.1):

- in control circuits connected to the protective bonding circuit, by inserting an overcurrent protective device into the switched conductor;
- in control circuits not connected to the protective bonding circuit;
 - where the same cross sectional area conductors are used in all control circuits, by inserting an overcurrent protective device into the switched conductor, and;
 - where different cross sectional areas conductors are used in different sub-circuits, by inserting an overcurrent protective device into both switched and common conductors of each sub-circuit.

7.2.5 Socket outlets and their associated conductors

Overcurrent protection shall be provided for the circuits feeding the general purpose socket outlets intended primarily for supplying power to maintenance equipment. Overcurrent protective devices shall be provided in the unearthed live conductors of each circuit feeding such socket outlets.

7.2.6 Lighting circuits

All unearthed conductors of circuits supplying lighting shall be protected against the effects of short circuits by the provision of overcurrent devices separate from those protecting other circuits.

7.2.7 Transformers

Transformers shall be protected against overcurrent in accordance with the manufacturer's instructions. Such protection shall (see also 7.2.10):

- avoid nuisance tripping due to transformer magnetizing inrush currents;
- avoid a winding temperature rise in excess of the permitted value for the insulation class of transformer when it is subjected to the effects of a short circuit at its secondary terminals.

The type and setting of the overcurrent protective device should be in accordance with the recommendations of the transformer supplier.

7.2.8 Location of overcurrent protective devices

An overcurrent protective device shall be located at the point where a reduction in the cross-sectional area of the conductors or another change reduces the current-carrying capacity of the conductors, except where all the following conditions are satisfied:

- the current carrying capacity of the conductors is at least equal to that of the load;
- the part of the conductor between the point of reduction of current-carrying capacity and the position of the overcurrent protective device is no longer than 3 m;
- the conductor is installed in such a manner as to reduce the possibility of a short-circuit, for example, protected by an enclosure or duct.

7.2.9 Overcurrent protective devices

The rated short-circuit breaking capacity shall be at least equal to the prospective fault current at the point of installation. Where the short-circuit current to an overcurrent protective device can include additional currents other than from the supply (for example from motors, from power factor correction capacitors), those currents shall be taken into consideration.

A lower breaking capacity is permitted where another protective device (for example the overcurrent protective device for the supply conductors (see 7.2.2) having the necessary breaking capacity is installed on the supply side. In that case, the characteristics of the two devices shall be co-ordinated so that the let-through energy (I^2t) of the two devices in series does not exceed that which can be withstood without damage to the overcurrent protective device on the load side and to the conductors protected by that device (see Annex A of IEC 60947-2).

NOTE The use of such a co-ordinated arrangement of overcurrent protective devices can result in the operation of both overcurrent protective devices.

Where fuses are provided as overcurrent protective devices, a type readily available in the country of use shall be selected, or arrangements shall be made for the supply of spare parts.

7.2.10 Rating and setting of overcurrent protective devices

The rated current of fuses or the setting current of other overcurrent protective devices shall be selected as low as possible but adequate for the anticipated overcurrents (for example during starting of motors or energizing of transformers). When selecting those protective devices, consideration shall be given to the protection of switching devices against damage due to overcurrents (for example welding of the switching device contacts).

The rated current or setting of an overcurrent protective device is determined by the current carrying capacity of the conductors to be protected in accordance with 12.4, D.2 and the maximum allowable interrupting time t in accordance with Clause D.3, taking into account the needs of co-ordination with other electrical devices in the protected circuit.

7.3 Protection of motors against overheating

7.3.1 General

Protection of motors against overheating shall be provided for each motor rated at more than 0,5 kW.

Exceptions:

In applications where an automatic interruption of the motor operation is unacceptable (for example fire pumps), the means of detection shall give a warning signal to which the operator can respond.

Protection of motors against overheating can be achieved by:

- overload protection (7.3.2),

NOTE 1 Overload protective devices detect the time and current relationships ($t^2 I$) in a circuit that are in excess of the rated full load of the circuit and initiate appropriate control responses.

- over-temperature protection (7.3.3), or

NOTE 2 Temperature detection devices sense over-temperature and initiate appropriate control responses.

- current-limiting protection (7.3.4).

Automatic restarting of any motor after the operation of protection against overheating shall be prevented where this can cause a hazardous situation or damage to the machine or to the work in progress.

7.3.2 Overload protection

Where overload protection is provided, detection of overload(s) shall be provided in each live conductor except for the neutral conductor. However, where the motor overload detection is not used for cable overload protection (see also Clause D.2), the number of overload detection devices may be reduced at the request of the user (see also Annex B). For motors having single-phase or d.c. power supplies, detection in only one unearthed live conductor is permitted.

Where overload protection is achieved by switching off, the switching device shall switch off all live conductors. The switching of the neutral conductor is not necessary for overload protection.

Where motors with special duty ratings are required to start or to brake frequently (for example, motors for rapid traverse, locking, rapid reversal, sensitive drilling) it can be difficult to provide overload protection with a time constant comparable with that of the winding to be protected. Appropriate protective devices designed to accommodate special duty motors or over-temperature protection (see 7.3.3) can be necessary.

For motors that cannot be overloaded (for example torque motors, motion drives that either are protected by mechanical overload protection devices or are adequately dimensioned), overload protection is not required.

7.3.3 Over-temperature protection

The provision of motors with over-temperature protection (see IEC 60034-11) is recommended in situations where the cooling can be impaired (for example dusty environments). Depending upon the type of motor, protection under stalled rotor or loss of phase conditions is not always ensured by over-temperature protection, and additional protection should then be provided.

Over-temperature protection is also recommended for motors that cannot be overloaded (for example torque motors, motion drives that are either protected by mechanical overload protection devices or are adequately dimensioned), where the possibility of over-temperature exists (for example due to reduced cooling).

7.3.4 Current limiting protection

Where protection against the effects of overheating in three phase motors is achieved by current limitation, the number of current limitation devices may be reduced from 3 to 2 (see 7.3.2). For motors having single phase a.c or d.c. power supplies, current limitation in only one unearthed live conductor is permitted.

7.4 Abnormal temperature protection

Resistance heating or other circuits that are capable of attaining or causing abnormal temperatures (for example, due to short-time rating or loss of cooling medium) and therefore can cause a hazardous situation shall be provided with suitable detection to initiate an appropriate control response.

7.5 Protection against supply interruption or voltage reduction and subsequent restoration

Where a supply interruption or a voltage reduction can cause a hazardous situation, damage to the machine, or to the work in progress, undervoltage protection shall be provided by, for example, switching off the machine at a predetermined voltage level.

Where the operation of the machine can allow for an interruption or a reduction of the voltage for a short time period, delayed undervoltage protection may be provided. The operation of the undervoltage device shall not impair the operation of any stopping control of the machine.

Upon restoration of the voltage or upon switching on the incoming supply, automatic or unexpected restarting of the machine shall be prevented where such a restart can cause a hazardous situation.

Where only a part of the machine or of the group of machines working together in a co-ordinated manner is affected by the voltage reduction or supply interruption, the undervoltage protection shall initiate appropriate control responses to ensure co-ordination.

7.6 Motor overspeed protection

Overspeed protection shall be provided where overspeeding can occur and could possibly cause a hazardous situation taking into account measures in accordance with 9.3.2. Overspeed protection shall initiate appropriate control responses and shall prevent automatic restarting.

The overspeed protection should operate in such a manner that the mechanical speed limit of the motor or its load is not exceeded.

NOTE This protection can consist, for example, of a centrifugal switch or speed limit monitor.

7.7 Earth fault/residual current protection

In addition to providing overcurrent protection for automatic disconnection as described in 6.3, earth fault/residual current protection can be provided to reduce damage to equipment due to earth fault currents less than the detection level of the overcurrent protection.

The setting of the devices shall be as low as possible consistent with correct operation of the equipment.

7.8 Phase sequence protection

Where an incorrect phase sequence of the supply voltage can cause a hazardous situation or damage to the machine, protection shall be provided.

NOTE Conditions of use that can lead to an incorrect phase sequence include:

- a machine transferred from one supply to another;
- a mobile machine with a facility for connection to an external power supply.

7.9 Protection against overvoltages due to lightning and to switching surges

Protective devices can be provided to protect against the effects of overvoltages due to lightning or to switching surges.

Where provided:

- devices for the suppression of overvoltages due to lightning shall be connected to the incoming terminals of the supply disconnecting device.
- devices for the suppression of overvoltages due to switching surges shall be connected across the terminals of all equipment requiring such protection.

8 Equipotential bonding

8.1 General

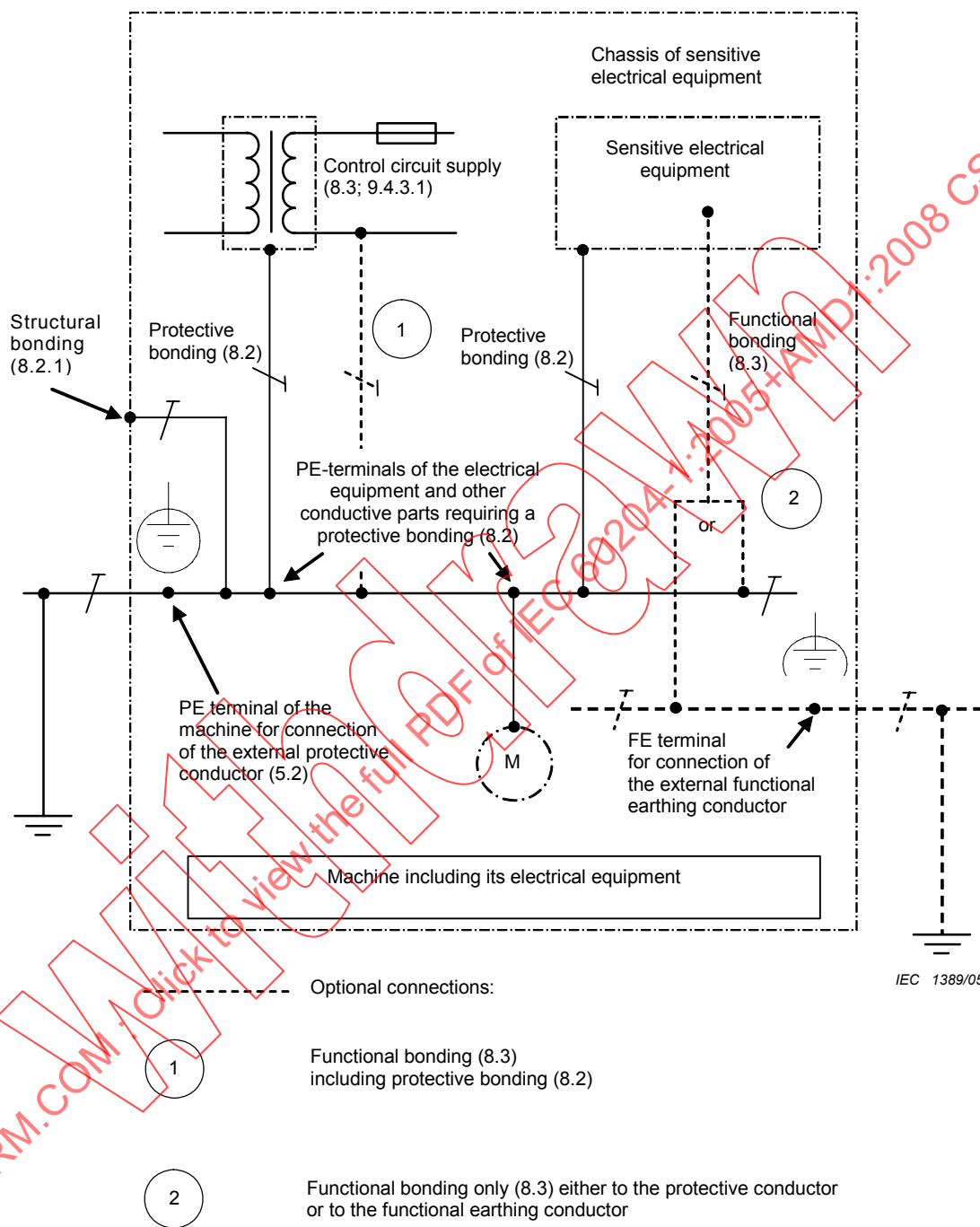
This Clause provides requirements for both protective bonding and functional bonding. Figure 2 illustrates those concepts.

Protective bonding is a basic provision for fault protection to enable protection of persons against electric shock from indirect contact (see 6.3.3 and 8.2).

The objective of functional bonding (see 8.3) is to minimize:

- the consequence of an insulation failure which could affect the operation of the machine;
- the consequences of electrical disturbances to sensitive electrical equipment which could affect the operation of the machine.

Normally functional bonding is achieved by connection to the protective bonding circuit, but where the level of electrical disturbances on the protective bonding circuit is not sufficiently low for proper functioning of electrical equipment, it may be necessary to connect the functional bonding circuit to a separate functional earthing conductor (see Figure 2).



NOTE The functional earthing conductor was previously referred to as 'noiseless earth conductor' and the 'FE' terminal was previously designated 'TE' (see IEC 60445).

Figure 2 – Example of equipotential bonding for electrical equipment of a machine

8.2 Protective bonding circuit

8.2.1 General

The protective bonding circuit consists of:

- PE terminal(s) (see 5.2);
- the protective conductors in the equipment of the machine including sliding contacts where they are part of the circuit;
- the exposed conductive parts and conductive structural parts of the electrical equipment;
- those extraneous conductive parts which form the structure of the machine.

All parts of the protective bonding circuit shall be so designed that they are capable of withstanding the highest thermal and mechanical stresses that can be caused by earth-fault currents that could flow in that part of the protective bonding circuit.

Where the conductance of structural parts of the electrical equipment or of the machine is less than that of the smallest protective conductor connected to the exposed conductive parts, a supplementary bonding conductor shall be provided. This supplementary bonding conductor shall have a cross-sectional area not less than half that of the corresponding protective conductor.

If an IT distribution system is used, the machine structure shall be part of the protective bonding circuit and insulation monitoring shall be provided. See 6.3.3 c).

Conductive structural parts of equipment in accordance with 6.3.2.2 need not be connected to the protective bonding circuit. Extraneous conductive parts which form the structure of the machine need not be connected to the protective bonding circuit where all the equipment provided is in accordance with 6.3.2.2.

Exposed conductive parts of equipment in accordance with 6.3.2.3 shall not be connected to the protective bonding circuit.

8.2.2 Protective conductors

Protective conductors shall be identified in accordance with 13.2.2.

Copper conductors are preferred. Where a conductor material other than copper is used, its electrical resistance per unit length shall not exceed that of the allowable copper conductor and such conductors shall be not less than 16 mm² in cross-sectional area.

The cross-sectional area of protective conductors shall be determined in accordance with the requirements of:

- 543 of IEC 60364-5-54; or
- 7.4.3.1.7 of IEC 60439-1, as appropriate.

This requirement is met in most cases where the relationship between the cross-sectional area of the phase conductors associated with that part of the equipment and the cross-sectional area of the associated protective conductor is in accordance with Table 1 (see 5.2).

See also 8.2.8.

8.2.3 Continuity of the protective bonding circuit

All exposed conductive parts shall be connected to the protective bonding circuit in accordance with 8.2.1.

Exception: see 8.2.5.

Where a part is removed for any reason (for example routine maintenance), the protective bonding circuit for the remaining parts shall not be interrupted.

Connection and bonding points shall be so designed that their current-carrying capacity is not impaired by mechanical, chemical, or electrochemical influences. Where enclosures and conductors of aluminium or aluminium alloys are used, particular consideration should be given to the possibility of electrolytic corrosion.

Metal ducts of flexible or rigid construction and metallic cable sheaths shall not be used as protective conductors. Nevertheless, such metal ducts and the metal sheathing of all connecting cables (for example cable armouring, lead sheath) shall be connected to the protective bonding circuit.

Where the electrical equipment is mounted on lids, doors, or cover plates, continuity of the protective bonding circuit shall be ensured and a protective conductor (see 8.2.2) is recommended. Otherwise fastenings, hinges or sliding contacts designed to have a low resistance shall be used (see 18.2.2, Test 1).

The continuity of the protective conductor in cables that are exposed to damage (for example flexible trailing cables) shall be ensured by appropriate measures (for example monitoring).

For requirements for the continuity of the protective conductor using conductor wires, conductor bars and slip-ring assemblies, see 12.7.2.

8.2.4 Exclusion of switching devices from the protective bonding circuit

The protective bonding circuit shall not incorporate a switching device or an overcurrent protective device (for example switch, fuse).

No means of interruption of the protective bonding conductor shall be provided.

Exception: links for test or measurement purposes that cannot be opened without the use of a tool and that are located in an enclosed electrical operating area.

Where the continuity of the protective bonding circuit can be interrupted by means of removable current collectors or plug/socket combinations, the protective bonding circuit shall be interrupted by a first make last break contact. This also applies to removable or withdrawable plug-in units (see also 13.4.5).

8.2.5 Parts that need not be connected to the protective bonding circuit

It is not necessary to connect exposed conductive parts to the protective bonding circuit where those parts are mounted so that they do not constitute a hazard because:

- they cannot be touched on large surfaces or grasped with the hand and they are small in size (less than approximately 50 mm × 50 mm); or
- they are located so that either contact with live parts, or an insulation failure, is unlikely.

This applies to small parts such as screws, rivets, and nameplates and to parts inside an enclosure, irrespective of their size (for example electromagnets of contactors or relays and mechanical parts of devices) (see also 410.3.3.5 of IEC 60364-4-41).

8.2.6 Protective conductor connecting points

All protective conductors shall be terminated in accordance with 13.1.1. The protective conductor connecting points shall have no other function and are not intended, for example, to attach or connect appliances or parts.

Each protective conductor connecting point shall be marked or labelled as such using the symbol IEC 60417-5019 (DB:2002-10):



or with the letters **PE**, the graphical symbol being preferred, or by use of the bicolour combination GREEN-AND-YELLOW, or by any combination of these.

8.2.7 Mobile machines

On mobile machines with on-board power supplies, the protective conductors, the conductive structural parts of the electrical equipment, and those extraneous conductive parts which form the structure of the machine shall all be connected to a protective bonding terminal to provide protection against electric shock. Where a mobile machine is also capable of being connected to an external incoming power supply, this protective bonding terminal shall be the connection point for the external protective conductor.

NOTE When the supply of electrical energy is self-contained within stationary, mobile, or movable items of equipment, and when there is no external supply connected (for example when an on-board battery charger is not connected), there is no need to connect such equipment to an external protective conductor.

8.2.8 Additional protective bonding requirements for electrical equipment having earth leakage currents higher than 10 mA a.c. or d.c.

NOTE 1 Earth leakage current is defined as "current flowing from the live parts of an installation to earth, in the absence of an insulation fault" (IEV 442-01-24). This current may have a capacitive component including that resulting from the deliberate use of capacitors.

NOTE 2 Most adjustable speed electrical power drive systems that comply with relevant parts of IEC 61800 will have an earth leakage current greater than 3,5 mA a.c. A touch current measurement method is specified as a type test in IEC 61800-5-1 to determine the earth leakage current of an adjustable speed electrical power drive system.

Where electrical equipment has an earth leakage current (for example adjustable speed electrical power drive systems and information technology equipment) that is greater than 10 mA a.c. or d.c. in any incoming supply, one or more of the following conditions for the associated protective bonding circuit shall be satisfied:

- the protective conductor shall have a cross-sectional area of at least 10 mm² Cu or 16 mm² Al, through its total run;
- where the protective conductor has a cross-sectional area of less than 10 mm² Cu or 16 mm² Al, a second protective conductor of at least the same cross-sectional area shall be provided up to a point where the protective conductor has a cross-sectional area not less than 10 mm² Cu or 16 mm² Al.

NOTE 3 This can require that the electrical equipment has a separate terminal for a second protective conductor.

- automatic disconnection of the supply in case of loss of continuity of the protective conductor.

To prevent difficulties associated with electromagnetic disturbances, the requirements of 4.4.2 also apply to the installation of duplicate protective conductors.

In addition, a warning label shall be provided adjacent to the PE terminal, and where necessary on the nameplate of the electrical equipment. The information provided under 17.2 b)1) shall include information about the leakage current and the minimum cross-sectional area of the external protective conductor.

8.3 Functional bonding

Protection against maloperation as a result of insulation failures can be achieved by connecting to a common conductor in accordance with 9.4.3.1.

For recommendations regarding functional bonding to avoid maloperation due to electromagnetic disturbances, see 4.4.2.

8.4 Measures to limit the effects of high leakage current

The effects of high leakage current can be restricted to the equipment having high leakage current by connection of that equipment to a dedicated supply transformer having separate windings. The protective bonding circuit shall be connected to exposed conductive parts of the equipment and, in addition, to the secondary winding of the transformer. The protective conductor(s) between the equipment and the secondary winding of the transformer shall comply with one or more of the arrangements described in 8.2.8.

9 Control circuits and control functions

9.1 Control circuits

9.1.1 Control circuit supply

Where control circuits are supplied from an a.c. source, control transformers shall be used for supplying the control circuits. Such transformers shall have separate windings. Where several transformers are used, it is recommended that the windings of those transformers be connected in such a manner that the secondary voltages are in phase.

Where d.c. control circuits derived from an a.c. supply are connected to the protective bonding circuit (see 8.2.1), they shall be supplied from a separate winding of the a.c. control circuit transformer or by another control circuit transformer.

NOTE Switch-mode units fitted with transformers having separate windings in accordance with IEC 61558-2-17 meet this requirement.

Transformers are not mandatory for machines with a single motor starter and/or a maximum of two control devices (for example interlock device, start/stop control station).

9.1.2 Control circuit voltages

The nominal value of the control voltage shall be consistent with the correct operation of the control circuit. The nominal voltage shall not exceed 277 V when supplied from a transformer.

9.1.3 Protection

Control circuits shall be provided with overcurrent protection in accordance with 7.2.4 and 7.2.10.

9.2 Control functions

NOTE 1 Information on the safety-related aspects of control functions is given in ISO 13849-1, ISO 13849-2, and IEC 62061.

NOTE 2 This subclause does not specify requirements for the equipment used to implement control functions. Examples of such requirements are given in Clause 10.

9.2.1 Start functions

Start functions shall operate by energizing the relevant circuit (see 9.2.5.2).

9.2.2 Stop functions

There are three categories of stop functions as follows:

- stop category 0: stopping by immediate removal of power to the machine actuators (i.e. an uncontrolled stop – see 3.56);
- stop category 1: a controlled stop (see 3.11) with power available to the machine actuators to achieve the stop and then removal of power when the stop is achieved;
- stop category 2: a controlled stop with power left available to the machine actuators.

9.2.3 Operating modes

Each machine can have one or more operating modes determined by the type of machine and its application. When a hazardous situation can result from a mode selection, unauthorised and/or inadvertent selection shall be prevented by suitable means (for example key operated switch, access code).

Mode selection by itself shall not initiate machine operation. A separate actuation of the start control shall be required.

For each specific operating mode, the relevant safety functions and/or protective measures shall be implemented.

Indication of the selected operating mode shall be provided (for example the position of a mode selector, the provision of an indicating light, a visual display indication).

9.2.4 Suspension of safety functions and/or protective measures

Where it is necessary to suspend safety functions and/or protective measures (for example for setting or maintenance purposes), protection shall be ensured by:

- disabling all other operating (control) modes; and
- other relevant means (see 4.11.9 of ISO 12100-2:2003), that can include, for example, one or more of the following:
 - initiation of operation by a hold-to-run device or by a similar control device;
 - a portable control station with an emergency stop device and, where appropriate, an enabling device. Where a portable control station is in use, initiation of motion shall only be possible from that control station;

- a cableless control station with a device to initiate stop functions in accordance with 9.2.7.3 and, where appropriate, an enabling device. Where a cableless control station is in use, initiation of motion shall only be possible from that control station;
- limitation of the speed or the power of motion;
- limitation of the range of motion.

9.2.5 Operation

9.2.5.1 General

The necessary safety functions and/or protective measures (for example interlocks (see 9.3)) shall be provided for safe operation.

Measures shall be taken to prevent movement of the machine in an unintended or unexpected manner after any stopping of the machine (for example due to locked-off condition, power supply fault, battery replacement, lost signal condition with cableless control).

Where a machine has more than one control station, measures shall be provided to ensure that initiation of commands from different control stations do not lead to a hazardous situation.

9.2.5.2 Start

The start of an operation shall be possible only when all of the relevant safety functions and/or protective measures are in place and are operational except for conditions as described in 9.2.4.

On those machines (for example mobile machines) where safety functions and/or protective measures cannot be applied for certain operations, manual control of such operations shall be by hold-to-run controls, together with enabling devices, as appropriate.

Suitable interlocks shall be provided to secure correct sequential starting.

In the case of machines requiring the use of more than one control station to initiate a start, each of these control stations shall have a separate manually actuated start control device. The conditions to initiate a start shall be:

- all required conditions for machine operation shall be met, and
- all start control devices shall be in the released (off) position, then
- all start control devices shall be actuated concurrently (see 3.6).

9.2.5.3 Stop

Stop category 0 and/or stop category 1 and/or stop category 2 stop functions shall be provided as indicated by the risk assessment and the functional requirements of the machine (see 4.1).

NOTE The supply disconnecting device (see 5.3) when operated achieves a stop category 0.

Stop functions shall override related start functions (see 9.2.5.2).

Where required, facilities to connect protective devices and interlocks shall be provided. If such a protective device or interlock causes a stop of the machine, it may be necessary for that condition to be signalled to the logic of the control system. The reset of the stop function shall not initiate any hazardous situation.

Where more than one control station is provided, stop commands from any control station shall be effective when required by the risk assessment of the machine.

9.2.5.4 Emergency operations (emergency stop, emergency switching off)

9.2.5.4.1 General

This part of IEC 60204 specifies the requirements for the emergency stop and the emergency switching off functions of the emergency operations listed in Annex E, both of which are, in this part of IEC 60204, initiated by a single human action.

Once active operation of an emergency stop (see 10.7) or emergency switching off (see 10.8) actuator has ceased following a command, the effect of this command shall be sustained until it is reset. This reset shall be possible only by a manual action at that location where the command has been initiated. The reset of the command shall not restart the machinery but only permit restarting.

It shall not be possible to restart the machinery until all emergency stop commands have been reset. It shall not be possible to reenergize the machinery until all emergency switching off commands have been reset.

NOTE Emergency stop and emergency switching off are complementary protective measures that are not primary means of risk reduction for hazards (for example trapping, entanglement, electric shock or burn) at a machine (see ISO 12100 (all parts)).

9.2.5.4.2 Emergency stop

Principles for the design of emergency stop equipment, including functional aspects, are given in ISO 13850.

The emergency stop shall function either as a stop category 0 or as a stop category 1 (see 9.2.2). The choice of the stop category of the emergency stop depends on the results of a risk assessment of the machine.

In addition to the requirements for stop (see 9.2.5.3), the emergency stop function has the following requirements:

- it shall override all other functions and operations in all modes;
- power to the machine actuators that can cause a hazardous situation(s) shall be either removed immediately (stop category 0) or shall be controlled in such a way to stop the hazardous motion as quickly as possible (stop category 1) without creating other hazards;
- reset shall not initiate a restart.

9.2.5.4.3 Emergency switching off

The functional aspects of emergency switching off are given in 536.4 of IEC 60364-5-53.

Emergency switching off should be provided where:

- protection against direct contact (for example with conductor wires, conductor bars, slip-ring assemblies, controlgear in electrical operating areas) is achieved only by placing out of reach or by obstacles (see 6.2.6); or
- there is the possibility of other hazards or damage caused by electricity.

Emergency switching off is accomplished by switching off the relevant incoming supply by electromechanical switching devices, effecting a stop category 0 of machine actuators connected to this incoming supply. When a machine cannot tolerate this stop category 0 stop, it may be necessary to provide other measures, for example protection against direct contact, so that emergency switching off is not necessary.

9.2.5.5 Monitoring of command actions

Movement or action of a machine or part of a machine that can result in a hazardous situation shall be monitored by providing, for example, overtravel limiters, motor overspeed detection, mechanical overload detection or anti-collision devices.

NOTE On some manually controlled machines, operators provide monitoring.

9.2.6 Other control functions

9.2.6.1 Hold-to-run controls

Hold-to-run controls shall require continuous actuation of the control device(s) to achieve operation.

NOTE Hold-to-run control can be accomplished by two-hand control devices.

9.2.6.2 Two-hand control

Three types of two-hand control are defined in ISO 13851, the selection of which is determined by the risk assessment. These shall have the following features:

Type I: this type requires:

- the provision of two control devices and their concurrent actuation by both hands;
- continuous concurrent actuation during the hazardous situation;
- machine operation shall cease upon the release of either one or both of the control devices when hazardous situations are still present.

A Type I two-hand control device is not considered to be suitable for the initiation of hazardous operation.

Type II: a type I control requiring the release of both control devices before machine operation can be reinitiated.

Type III: a type II control requiring concurrent actuation of the control devices as follows:

- it shall be necessary to actuate the control devices within a certain time limit of each other, not exceeding 0,5 s;
- where this time limit is exceeded, both control devices shall be released before machine operation can be initiated.

9.2.6.3 Enabling control

Enabling control (see also 10.9) is a manually activated control function interlock that:

- a) when activated allows a machine operation to be initiated by a separate start control, and

b) when de-activated

- initiates a stop function, and
- prevents initiation of machine operation.

Enabling control shall be so arranged as to minimize the possibility of defeating, for example by requiring the de-activation of the enabling control device before machine operation may be reinitiated. It should not be possible to defeat the enabling function by simple means.

9.2.6.4 Combined start and stop controls

Push-buttons and similar control devices that, when operated, alternately initiate and stop motion shall only be provided for functions which cannot result in a hazardous situation.

9.2.7 Cableless control

9.2.7.1 General

This subclause deals with the functional requirements of control systems employing cableless (for example radio, infra-red) techniques for transmitting commands and signals between a machine control system and operator control station(s).

NOTE Some of these application and system considerations can also be applicable to control functions employing serial data communication techniques where the communications link uses a cable (for example coaxial, twisted-pair, optical fibre).

Means shall be provided to readily remove or disconnect the power supply of the operator control station (see also 9.2.7.3).

Means (for example key operated switch, access code) shall be provided, as necessary, to prevent unauthorized use of the operator control station.

Each operator control station shall carry an unambiguous indication of which machine(s) is (are) intended to be controlled by that operator control station.

9.2.7.2 Control limitation

Measures shall be taken to ensure that control commands:

- affect only the intended machine;
- affect only the intended functions.

Measures shall be taken to prevent the machine from responding to signals other than those from the intended operator control station(s).

Where necessary, means shall be provided so that the machine can only be controlled from operator control stations in one or more predetermined zones or locations.

9.2.7.3 Stop

Operator control stations shall include a separate and clearly identifiable means to initiate the stop function of the machine or of all the operations that can cause a hazardous situation. The actuating means to initiate this stop function shall not be marked or labelled as an emergency stop device, even though the stop function initiated on the machine can fulfil an emergency stop function.

A machine which is equipped with cableless control shall have a means of automatically initiating the stopping of the machine and of preventing a potentially hazardous operation, in the following situations:

- when a stop signal is received;
- when a fault is detected in the cableless control system;
- when a valid signal (which includes a signal that communication is established and maintained) has not been detected within a specified period of time (see Annex B), except when a machine is executing a pre-programmed task taking it outside the range of the cableless control where no hazardous situation can occur.

9.2.7.4 Use of more than one operator control station

Where a machine has more than one operator control station, including one or more cableless control stations, measures shall be provided to ensure that only one of the control stations can be enabled at a given time. An indication of which operator control station is in control of the machine shall be provided at suitable locations as determined by the risk assessment of the machine.

Exception: a stop command from any one of the control stations shall be effective when required by the risk assessment of the machine.

9.2.7.5 Battery-powered operator control stations

A variation in the battery voltage shall not cause a hazardous situation. If one or more potentially hazardous motions are controlled using a battery-powered cableless operator control station, a clear warning shall be given to the operator when a variation in battery voltage exceeds specified limits. Under those circumstances, the cableless operator control station shall remain functional long enough for the operator to put the machine into a non-hazardous situation.

9.3 Protective interlocks

9.3.1 Reclosing or resetting of an interlocking safeguard

The reclosing or resetting of an interlocking safeguard shall not initiate hazardous machine operation.

NOTE Requirements for interlocking guards with a start function (control guards) are given in 5.3.2.5 of ISO 12100-2.

9.3.2 Exceeding operating limits

Where an operating limit (for example speed, pressure, position) can be exceeded leading to a hazardous situation, means shall be provided to detect when a predetermined limit(s) is exceeded and initiate an appropriate control action.

9.3.3 Operation of auxiliary functions

The correct operation of auxiliary functions shall be checked by appropriate devices (for example pressure sensors).

Where the non-operation of a motor or device for an auxiliary function (for example lubrication, supply of coolant, swarf removal) can cause a hazardous situation, or cause damage to the machine or to the work in progress, appropriate interlocking shall be provided.

9.3.4 Interlocks between different operations and for contrary motions

All contactors, relays, and other control devices that control elements of the machine and that can cause a hazardous situation when actuated at the same time (for example those which initiate contrary motion), shall be interlocked against incorrect operation.

Reversing contactors (for example those controlling the direction of rotation of a motor) shall be interlocked in such a way that in normal service no short circuit can occur when switching.

Where, for safety or for continuous operation, certain functions on the machine are required to be interrelated, proper co-ordination shall be ensured by suitable interlocks. For a group of machines working together in a co-ordinated manner and having more than one controller, provision shall be made to co-ordinate the operations of the controllers as necessary.

Where a failure of a mechanical brake actuator can result in the brake being applied when the associated machine actuator is energized and a hazardous situation can result, interlocks shall be provided to switch off the machine actuator.

9.3.5 Reverse current braking

Where braking of a motor is accomplished by current reversal, measures shall be provided to prevent the motor starting in the opposite direction at the end of braking where that reversal can cause a hazardous situation or damage to the machine or to the work in progress. For this purpose, a device operating exclusively as a function of time is not permitted.

Control circuits shall be so arranged that rotation of a motor shaft, for example manually, shall not result in a hazardous situation.

9.4 Control functions in the event of failure

9.4.1 General requirements

Where failures or disturbances in the electrical equipment can cause a hazardous situation or damage to the machine or to the work in progress, appropriate measures shall be taken to minimize the probability of the occurrence of such failures or disturbances. The required measures and the extent to which they are implemented, either individually or in combination, depend on the level of risk associated with the respective application (see 4.1).

The electrical control circuits shall have an appropriate level of safety performance that has been determined from the risk assessment at the machine. The requirements of IEC 62061 and/or ISO 13849-1, ISO 13849-2 shall apply.

Measures to reduce those risks include but are not limited to:

- protective devices on the machine (for example interlocking guards, trip devices);
- protective interlocking of the electrical circuit;
- use of proven circuit techniques and components (see 9.4.2.1);
- provision of partial or complete redundancy (see 9.4.2.2) or diversity (see 9.4.2.3);
- provision for functional tests (see 9.4.2.4).

Where memory retention is achieved for example, by battery power, measures shall be taken to prevent hazardous situations arising from failure or removal of the battery.

Means shall be provided to prevent unauthorized or inadvertent memory alteration by, for example, requiring the use of a key, access code or tool.

9.4.2 Measures to minimize risk in the event of failure

9.4.2.1 Use of proven circuit techniques and components

These measures include but are not limited to:

- bonding of control circuits to the protective bonding circuit for functional purposes (see 9.4.3.1 and Figure 2);
- connection of control devices in accordance with 9.4.3.1;
- stopping by de-energizing (see 9.2.2);
- the switching of all control circuit conductors to the device being controlled (see 9.4.3.1);
- switching devices having direct opening action (see IEC 60947-5-1);
- circuit design to reduce the possibility of failures causing undesirable operations.

9.4.2.2 Provisions of partial or complete redundancy

By providing partial or complete redundancy, it is possible to minimize the probability that one single failure in the electrical circuit can result in a hazardous situation. Redundancy can be effective in normal operation (on-line redundancy) or designed as special circuits that take over the protective function (off-line redundancy) only where the operating function fails.

Where off-line redundancy which is not active during normal operation is provided, suitable measures shall be taken to ensure that those control circuits are available when required.

9.4.2.3 Provision of diversity

The use of control circuits having different principles of operation, or using different types of components or devices can reduce the probability of hazards resulting from faults and/or failures. Examples include:

- the combination of normally open and normally closed contacts operated by interlocking guards;
- the use of different types of control circuit components in the circuit;
- the combination of electromechanical and electronic equipment in redundant configurations.

The combination of electrical and non-electrical systems (for example mechanical, hydraulic, pneumatic) may perform the redundant function and provide the diversity.

9.4.2.4 Provision for functional tests

Functional tests may be carried out automatically by the control system, or manually by inspection or tests at start-up and at predetermined intervals, or a combination as appropriate (see also 17.2 and 18.6).

9.4.3 Protection against maloperation due to earth faults, voltage interruptions and loss of circuit continuity

9.4.3.1 Earth faults

Earth faults on any control circuit shall not cause unintentional starting, potentially hazardous motions, or prevent stopping of the machine.

Methods to meet these requirements include but are not limited to the following:

Method a) Control circuits, fed by control transformers:

- 1) In case of earthed control circuit supplies, the common conductor is connected to the protective bonding circuit at the point of supply. All contacts, solid state elements etc., which are intended to operate an electromagnetic or other device (for example, a relay, indicator light) are inserted between one side, the switched conductor of the control circuit supply and one terminal of the coil or device. The other terminal of the coil or device (preferably always having the same marking) is connected directly to the common conductor of the control circuit supply without any switching elements (see Figure 3).

Exception: Contacts of protective devices may be connected between the common conductor and the coils, provided that:

- the circuit is interrupted automatically in the event of an earth fault, or
 - the connection is very short (for example in the same enclosure) so that an earth fault is unlikely (for example overload relays).
- 2) Control circuits fed from a control transformer and not connected to the protective bonding circuit, having the same arrangement as shown in Figure 3 and provided with a device that interrupts the circuit automatically in the event of an earth fault (see also 7.2.4).

Method b) Control circuits fed from a control transformer with a centre-tapped winding, this centre tap connected to the protective bonding circuit, arranged as shown in Figure 4 with the overcurrent protective device having switching elements in all control circuit supply conductors.

NOTE 1 On a centre-tapped earthed control circuit, the presence of one earth fault can leave 50 % voltage on a relay coil. In this condition, a relay can hold on, resulting in inability to stop a machine.

NOTE 2 Coils or devices may be switched on either or both sides.

Method c) Where the control circuit is not fed from a control transformer and is either:

- 1) directly connected between the phase conductors of an earthed supply, or;
- 2) directly connected between the phase conductors or between a phase conductor and a neutral conductor of a supply that is not earthed or is earthed through a high impedance,

Multi-pole control switches that switch all live conductors are used for START or STOP of those machine functions that can cause a hazardous situation or damage to the machine in the event of unintentional starting or failure to stop, or in the case of c) 2), a device shall be provided that interrupts the circuit automatically in the event of an earth fault.

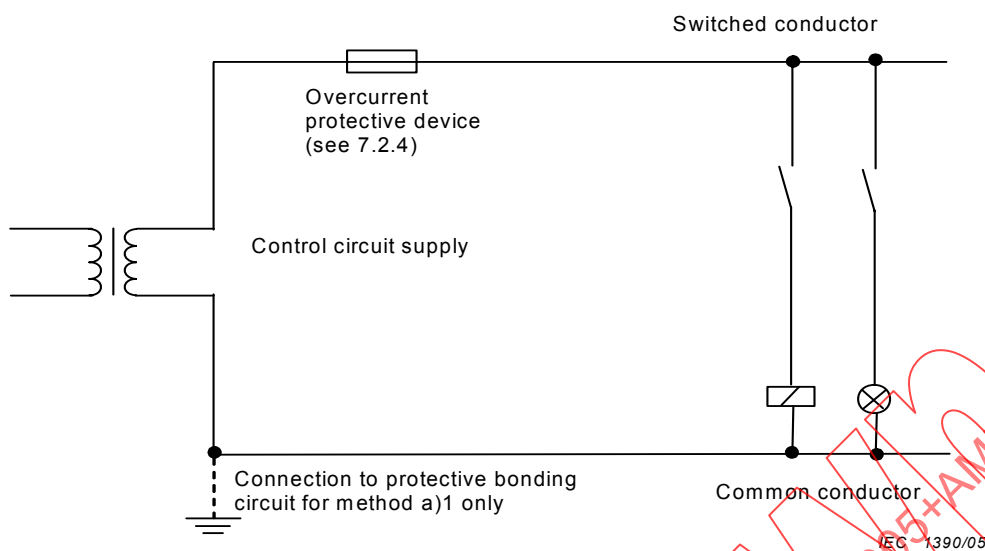


Figure 3 – Method a)

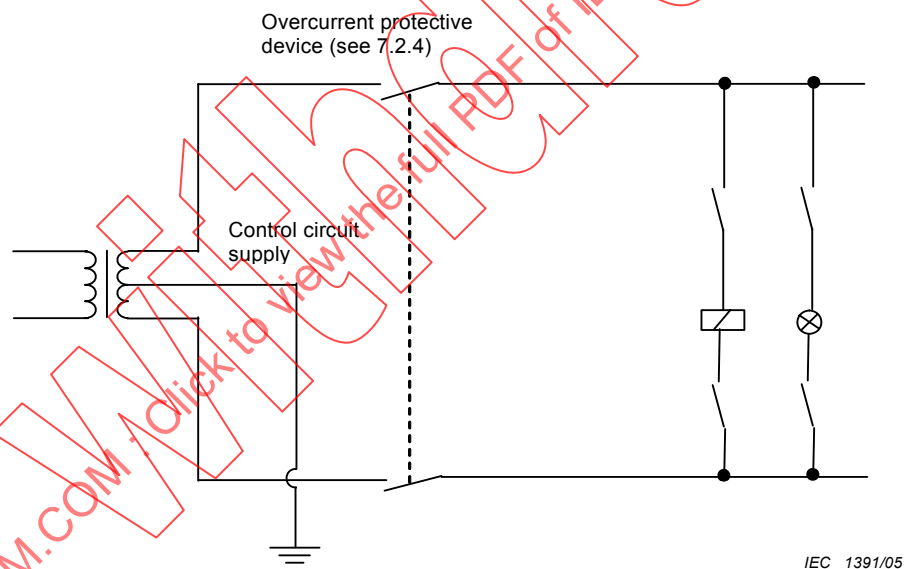


Figure 4 – Method b)

9.4.3.2 Voltage interruptions

The requirements detailed in 7.5 shall apply.

Where the control system uses a memory device(s), proper functioning in the event of power failure shall be ensured (for example by using a non-volatile memory) to prevent any loss of memory that can result in a hazardous situation.

9.4.3.3 Loss of circuit continuity

Where the loss of continuity of safety-related control circuits depending upon sliding contacts can result in a hazardous situation, appropriate measures shall be taken (for example by duplication of the sliding contacts).

10 Operator interface and machine-mounted control devices

10.1 General

10.1.1 General device requirements

This Clause contains requirements for devices mounted outside or partially outside control enclosures.

As far as is practicable, those devices shall be selected, mounted, and identified or coded in accordance with relevant parts of IEC 61310.

The possibility of inadvertent operation shall be minimized by, for example, positioning of devices, suitable design, provision of additional protective measures. Particular consideration shall be given to the selection, arrangement, programming and use of operator input devices such as touchscreens, keypads and keyboards, for the control of hazardous machine operations. See IEC 60447.

10.1.2 Location and mounting

As far as is practicable, machine-mounted control devices shall be:

- readily accessible for service and maintenance;
- mounted in such a manner as to minimize the possibility of damage from activities such as material handling.

The actuators of hand-operated control devices shall be selected and installed so that:

- they are not less than 0,6 m above the servicing level and are within easy reach of the normal working position of the operator;
- the operator is not placed in a hazardous situation when operating them.

The actuators of foot-operated control devices shall be selected and installed so that:

- they are within easy reach of the normal working position of the operator;
- the operator is not placed in a hazardous situation when operating them.

10.1.3 Protection

The degree of protection (see IEC 60529) together with other appropriate measures shall afford protection against:

- the effects of aggressive liquids, vapours, or gases found in the physical environment or used on the machine;
- the ingress of contaminants (for example swarf, dust, particulate matter).

In addition, the operator interface control devices shall have a minimum degree of protection against direct contact of IPXXD (see IEC 60529).

10.1.4 Position sensors

Position sensors (for example position switches, proximity switches) shall be so arranged that they will not be damaged in the event of overtravel.

Position sensors in circuits with safety-related control functions shall have direct opening action (see IEC 60947-5-1) or shall provide similar reliability (see 9.4.2).

NOTE A safety-related control function is intended to maintain the safe condition of the machine or prevent hazardous situations arising at the machine.

10.1.5 Portable and pendant control stations

Portable and pendant operator control stations and their control devices shall be so selected and arranged as to minimize the possibility of inadvertent machine operations caused by shocks and vibrations (for example if the operator control station is dropped or strikes an obstruction) (see also 4.4.8).

10.2 Push-buttons

10.2.1 Colours

Push-button actuators shall be colour-coded in accordance with Table 2 (see also 9.2 and Annex B).

The colours for START/ON actuators should be WHITE, GREY, BLACK or GREEN with a preference for WHITE. RED shall not be used.

The colour RED shall be used for emergency stop and emergency switching off actuators.

The colours for STOP/OFF actuators should be BLACK, GREY, or WHITE with a preference for BLACK. GREEN shall not be used. RED is permitted, but it is recommended that RED is not used near an emergency operation device.

WHITE, GREY, or BLACK are the preferred colours for push-button actuators that alternately act as START/ON and STOP/OFF push-buttons. The colours RED, YELLOW, or GREEN shall not be used (see also 9.2.6).

WHITE, GREY, or BLACK are the preferred colours for push-button actuators that cause operation while they are actuated and cease the operation when they are released (for example hold-to-run). The colours RED, YELLOW, or GREEN shall not be used.

Reset push-buttons shall be BLUE, WHITE, GREY, or BLACK. Where they also act as a STOP/OFF button, the colours WHITE, GREY, or BLACK are preferred with the main preference being for BLACK. GREEN shall not be used.

Where the same colour WHITE, GREY, or BLACK is used for various functions (for example WHITE for START/ON and for STOP/OFF actuators) a supplementary means of coding (for example shape, position, symbol) shall be used for the identification of push-button actuators.

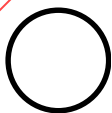
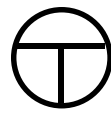
Table 2 – Colour-coding for push-button actuators and their meanings

Colour	Meaning	Explanation	Examples of application
RED	Emergency	Actuate in the event of a hazardous situation or emergency	Emergency stop Initiation of emergency function (see also 10.2.1)
YELLOW	Abnormal	Actuate in the event of an abnormal condition	Intervention to suppress abnormal condition Intervention to restart an interrupted automatic cycle
BLUE	Mandatory	Actuate for a condition requiring mandatory action	Reset function
GREEN	Normal	Actuate to initiate normal conditions	(See 10.2.1)
WHITE			START/ON (preferred) STOP/OFF
GREY	No specific meaning assigned	For general initiation of functions except for emergency stop (see note)	START/ON STOP/OFF
BLACK			START/ON STOP/OFF (preferred)
NOTE Where a supplementary means of coding (for example shape, position, texture) is used for the identification of push-button actuators, then the same colour WHITE, GREY, or BLACK may be used for various functions (for example WHITE for START/ON and for STOP/OFF actuators).			

10.2.2 Markings

In addition to the functional identification as described in 16.3, it is recommended that push-buttons be marked, near to or preferably directly on the actuators, with the symbols given in Table 3.

Table 3 – Symbols for push-buttons

START or ON	STOP or OFF	Push-buttons acting alternately as START or STOP buttons and as ON or OFF buttons	Push-buttons acting as START or ON buttons when pressed and as STOP or OFF buttons when released (i.e. hold-to-run)
IEC 60417-5007 (DB:2002-10) 	IEC 60417-5008 (DB:2002-10) 	IEC 60417-5010 (DB:2002-10) 	IEC 60417-5011 (DB:2002-10) 

10.3 Indicator lights and displays

10.3.1 General

Indicator lights and displays serve to give the following types of information:

- indication: to attract the operator's attention or to indicate that a certain task should be performed. The colours RED, YELLOW, BLUE, and GREEN are normally used in this mode; for flashing indicator lights and displays, see 10.3.3.
- confirmation: to confirm a command, or a condition, or to confirm the termination of a change or transition period. The colours BLUE and WHITE are normally used in this mode and GREEN may be used in some cases.

Indicator lights and displays shall be selected and installed in such a manner as to be visible from the normal position of the operator (see also IEC 61310-1).

Indicator light circuits used for warning lights shall be fitted with facilities to check the operability of these lights.

10.3.2 Colours

Unless otherwise agreed between the supplier and the user (see Annex B), indicator lights shall be colour-coded with respect to the condition (status) of the machine in accordance with Table 4.

Table 4 – Colours for indicator lights and their meanings with respect to the condition of the machine

Colour	Meaning	Explanation	Action by operator
RED	Emergency	Hazardous condition	Immediate action to deal with hazardous condition (for example switching off the machine supply, being alert to the hazardous condition and staying clear of the machine)
YELLOW	Abnormal	Abnormal condition Impending critical condition	Monitoring and/or intervention (for example by re-establishing the intended function)
BLUE	Mandatory	Indication of a condition that requires action by the operator	Mandatory action
GREEN	Normal	Normal condition	Optional
WHITE	Neutral	Other conditions; may be used whenever doubt exists about the application of RED, YELLOW, GREEN, BLUE	Monitoring

Indicating towers on machines should have the applicable colours in the following order from the top down; RED, YELLOW, BLUE, GREEN and WHITE.

10.3.3 Flashing lights and displays

For further distinction or information and especially to give additional emphasis, flashing lights and displays can be provided for the following purposes:

- to attract attention;
- to request immediate action;
- to indicate a discrepancy between the command and actual state;
- to indicate a change in process (flashing during transition).

It is recommended that higher frequency flashing lights or display be used for higher priority information (see IEC 60073 for recommended flashing rates and pulse/pause ratios).

Where flashing lights or displays are used to provide higher priority information, audible warning devices should also be provided.

10.4 Illuminated push-buttons

Illuminated push-button actuators shall be colour-coded in accordance with Tables 2 and 4. Where there is difficulty in assigning an appropriate colour, WHITE shall be used. The colour RED for the emergency stop actuator shall not depend on the illumination of its light.

10.5 Rotary control devices

Devices having a rotational member, such as potentiometers and selector switches, shall have means of prevention of rotation of the stationary member. Friction alone shall not be considered sufficient.

10.6 Start devices

Actuators used to initiate a start function or the movement of machine elements (for example slides, spindles, carriers) shall be constructed and mounted so as to minimize inadvertent operation. However, mushroom-type actuators may be used for two-hand control (see also ISO 13851).

10.7 Emergency stop devices

10.7.1 Location of emergency stop devices

Devices for emergency stop shall be readily accessible.

Emergency stop devices shall be located at each operator control station and at other locations where the initiation of an emergency stop can be required (**exception**: see 9.2.7.3).

There can be circumstances where confusion can occur between active and inactive emergency stop devices caused by disabling the operator control station. In such cases, means (for example, information for use) shall be provided to minimise confusion.

10.7.2 Types of emergency stop device

The types of device for emergency stop include:

- a push-button operated switch with a palm or mushroom head type;
- a pull-cord operated switch;
- a pedal-operated switch without a mechanical guard.

The devices shall have direct opening operation (see IEC 60947-5-1, Annex K).

10.7.3 Colour of actuators

Actuators of emergency stop devices shall be coloured RED. If a background exists immediately around the actuator, then this background shall be coloured YELLOW. See also ISO 13850.

10.7.4 Local operation of the supply disconnecting device to effect emergency stop

The supply disconnecting device may be locally operated to serve the function of emergency stop when:

- it is readily accessible to the operator; and
- it is of the type described in 5.3.2 a), b), c), or d).

When also intended for such use, the supply disconnecting device shall meet the colour requirements of 10.7.3.

10.8 Emergency switching off devices

10.8.1 Location of emergency switching off devices

Emergency switching off devices shall be located as necessary for the given application. Normally, those devices will be located separate from operator control stations. Where it is necessary to provide a control station with an emergency stop device and an emergency switching off device, means shall be provided to avoid confusion between these devices.

NOTE This can be achieved by, for example, the provision of a break-glass enclosure for the emergency switching off device.

10.8.2 Types of emergency switching off device

The types of device for emergency switching off include:

- a push-button operated switch with a palm or mushroom head type of actuator;
- a pull-cord operated switch.

The devices shall have direct opening action (see IEC 60947-5-1, Annex K).

The push-button operated switch may be in a break-glass enclosure.

10.8.3 Colour of actuators

Actuators of emergency switching off devices shall be coloured RED. If a background exists immediately around the actuator, then this background shall be coloured YELLOW.

Where confusion can occur between emergency stop and emergency switching off devices, means shall be provided to minimise confusion.

10.8.4 Local operation of the supply disconnecting device to effect emergency switching off

Where the supply disconnecting device is to be locally operated for emergency switching off, it shall be readily accessible and should meet the colour requirements of 10.8.3.

10.9 Enabling control device

When an enabling control device is provided as a part of a system, it shall signal the enabling control to allow operation when actuated in one position only. In any other position, operation shall be stopped or prevented.

Enabling control devices shall be selected and arranged so as to minimize the possibility of defeating.

Enabling control devices shall be selected that have the following features:

- designed in accordance with ergonomic principles;
- for a two-position type:
 - position 1: off-function of the switch (actuator is not operated);
 - position 2: enabling function (actuator is operated).
- for a three-position type:
 - position 1: off-function of the switch (actuator is not operated);
 - position 2: enabling function (actuator is operated in its mid position);
 - position 3: off-function (actuator is operated past its mid position);
 - when returning from position 3 to position 2, the enabling function is not activated.

NOTE The enabling control function is described in 9.2.6.3.

11 Controlgear: location, mounting, and enclosures

11.1 General requirements

All controlgear shall be located and mounted so as to facilitate:

- its accessibility and maintenance;
- its protection against the external influences or conditions under which it is intended to operate;
- operation and maintenance of the machine and its associated equipment.

11.2 Location and mounting

11.2.1 Accessibility and maintenance

All items of controlgear shall be placed and oriented so that they can be identified without moving them or the wiring. For items that require checking for correct operation or that are liable to need replacement, those actions should be possible without dismantling other equipment or parts of the machine (except opening doors or removing covers, barriers or obstacles). Terminals not part of controlgear components or devices shall also conform to these requirements.

All controlgear shall be mounted so as to facilitate its operation and maintenance from the front. Where a special tool is necessary to adjust, maintain, or remove a device, such a tool shall be supplied. Where access is required for regular maintenance or adjustment, the relevant devices shall be located between 0,4 m and 2,0 m above the servicing level. It is recommended that terminals be at least 0,2 m above the servicing level and be so placed that conductors and cables can be easily connected to them.

No devices except devices for operating, indicating, measuring, and cooling shall be mounted on doors or on normally removable access covers of enclosures. Where control devices are connected through plug-in arrangements, their association shall be made clear by type (shape), marking or reference designation, singly or in combination (see 13.4.5).

Plug-in devices that are handled during normal operation shall be provided with non-interchangeable features where the lack of such a facility can result in malfunctioning.

Plug/socket combinations that are handled during normal operation shall be located and mounted so as to provide unobstructed access.

Test points for connection of test equipment, where provided, shall be:

- mounted so as to provide unobstructed access;
- clearly identified to correspond with the documentation (see 17.3);
- adequately insulated;
- sufficiently spaced.

11.2.2 Physical separation or grouping

Non-electrical parts and devices, not directly associated with the electrical equipment, shall not be located within enclosures containing controlgear. Devices such as solenoid valves should be separated from the other electrical equipment (for example in a separate compartment).

Control devices mounted in the same location and connected to the supply voltage, or to both supply and control voltages, shall be grouped separately from those connected only to the control voltages.

Terminals shall be separated into groups for:

- power circuits;
- associated control circuits;
- other control circuits, fed from external sources (for example for interlocking).

The groups may be mounted adjacently, provided that each group can be readily identified (for example by markings, by use of different sizes, by use of barriers or by colours).

When arranging the location of devices (including interconnections), the clearances and creepage distances specified for them by the supplier shall be maintained, taking into account the external influences or conditions of the physical environment.

11.2.3 Heating effects

Heat generating components (for example heat sinks, power resistors) shall be so located that the temperature of each component in the vicinity remains within the permitted limit.

11.3 Degrees of protection

The protection of controlgear against ingress of solid foreign objects and of liquids shall be adequate taking into account the external influences under which the machine is intended to operate (i.e. the location and the physical environmental conditions) and shall be sufficient against dust, coolants, and swarf.

NOTE 1 Requirements for protection against electric shock are given in Clause 6.

NOTE 2 The degrees of protection against ingress of water are covered by IEC 60529. Additional protective measures can be necessary against other liquids.

Enclosures of controlgear shall provide a degree of protection of at least IP22 (see IEC 60529).

Exceptions:

- a) Where an electrical operating area is used as a protective enclosure for an appropriate degree of protection against the ingress of solid bodies and liquids.
- b) Where removable collectors on conductor wire or conductor bar systems are used and IP22 is not achieved, but the measures of 6.2.5 are applied.

NOTE 3 Some examples of applications, along with the degree of protection typically provided by their enclosures, are listed below:

– ventilated enclosure, containing only motor starter resistor and other large size equipment	IP10
– ventilated enclosure, containing other equipment	IP32
– enclosure used in general industry	IP32, IP43 and IP54
– enclosure used in locations that are cleaned with low-pressure water jets (hosing)	IP55
– enclosure providing protection against fine dust	IP65
– enclosure containing slip-ring assemblies	IP2X

Depending upon the conditions where installed, another degree of protection can be appropriate.

11.4 Enclosures, doors and openings

Enclosures shall be constructed using materials capable of withstanding the mechanical, electrical and thermal stresses as well as the effects of humidity and other environmental factors that are likely to be encountered in normal service.

Fasteners used to secure doors and covers should be of the captive type. Windows provided for viewing internally mounted indicating devices shall be of a material suitable to withstand mechanical stress and chemical attack (for example toughened glass or polycarbonate sheet of not less than 3 mm thickness).

It is recommended that enclosure doors be not wider than 0,9 m and have vertical hinges, with an angle of opening of at least 95°.

The joints or gaskets of doors, lids, covers and enclosures shall withstand the chemical effects of the aggressive liquids, vapours, or gases used on the machine. The means provided to maintain the degree of protection of an enclosure on doors, lids and covers that require opening or removal for operation or maintenance shall:

- be securely attached to either the door/cover or the enclosure;
- not deteriorate due to removal or replacement of the door or the cover, and so impair the degree of protection.

Where openings in enclosures are provided (for example, for cable access), including those towards the floor or foundation or to other parts of the machine, means shall be provided to ensure the degree of protection specified for the equipment. Openings for cable entries shall be easily re-opened on site. A suitable opening may be provided in the base of enclosures within the machine so that moisture due to condensation can drain away.

There shall be no opening between enclosures containing electrical equipment and compartments containing coolant, lubricating or hydraulic fluids, or those into which oil, other liquids, or dust can penetrate. This requirement does not apply to electrical devices specifically designed to operate in oil (for example electromagnetic clutches) nor to electrical equipment in which coolants are used.

Where there are holes in an enclosure for mounting purposes, means may be necessary to ensure that after mounting, the holes do not impair the required protection.

Equipment that, in normal or abnormal operation, can attain a surface temperature sufficient to cause a risk of fire or harmful effect to an enclosure material shall:

- be located within an enclosure that will withstand, without risk of fire or harmful effect, such temperatures as can be generated; and
- be mounted and located at a sufficient distance from adjacent equipment so as to allow safe dissipation of heat (see also 11.2.3); or
- be otherwise screened by material that can withstand, without risk of fire or harmful effect, the heat emitted by the equipment.

NOTE A warning label in accordance with 16.2.2 may be necessary.

11.5 Access to controlgear

Doors in gangways and for access to electrical operating areas shall:

- be at least 0,7 m wide and 2,1 m high;
- open outwards;
- have a means (for example panic bolts) to allow opening from the inside without the use of a key or tool.

Enclosures which readily allow a person to fully enter shall be provided with means to allow escape, for example panic bolts on the inside of doors. Enclosures intended for such access, for example for resetting, adjusting, maintenance, shall have a clear width of at least 0,7 m and a clear height of at least 2,1 m.

In cases where:

- equipment is likely to be live during access; and
- conducting parts are exposed,

the clear width shall be at least 1,0 m. In cases where such parts are present on both sides of the access way, the clear width shall be at least 1,5 m.

NOTE These dimensions are derived from ISO 14122 series.

12 Conductors and cables

12.1 General requirements

Conductors and cables shall be selected so as to be suitable for the operating conditions (for example voltage, current, protection against electric shock, grouping of cables) and external influences (for example ambient temperature, presence of water or corrosive substances, mechanical stresses (including stresses during installation), fire hazards) that can exist.

NOTE Further information is given in CENELEC HD 516 S2.

These requirements do not apply to the integral wiring of assemblies, subassemblies, and devices that are manufactured and tested in accordance with their relevant IEC standard (for example IEC 60439-1).

12.2 Conductors

In general, conductors shall be of copper. Where aluminium conductors are used, the cross-sectional area shall be at least 16 mm².

To ensure adequate mechanical strength, the cross-sectional area of conductors should not be less than as shown in Table 5. However, conductors with smaller cross-sectional areas or other constructions than shown in Table 5 may be used in equipment provided adequate mechanical strength is achieved by other means and proper functioning is not impaired.

NOTE Classification of conductors is given in Table D.4.

Table 5 – Minimum cross-sectional areas of copper conductors

		Type of conductor, cable				
Location	Application	Single core		Multicore		
		Flexible Class 5 or 6	Solid (class 1) or stranded (class 2)	Two core, shielded	Two core not shielded	Three or more cores, shielded or not
Wiring outside (protecting) enclosures	Power circuits, fixed	1,0	1,5	0,75	0,75	0,75
	Power circuits, subjected to frequent movements	1,0	-	0,75	0,75	0,75
	Control circuits	1,0	1,0	0,2	0,5	0,2
	Data communication	-	-	-	-	0,08
Wiring inside enclosures ¹⁾	Power circuits (connections not moved)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
	Control circuits	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Data communication	-	-	-	-	0,08

NOTE All cross-sections in mm².

¹⁾ Except special requirements of individual standards, see also 12.1.

Class 1 and class 2 conductors are primarily intended for use between rigid, non-moving parts.

All conductors that are subject to frequent movement (for example one movement per hour of machine operation) shall have flexible stranding of class 5 or class 6.

12.3 Insulation

The types of insulation include (but are not limited to):

- polyvinyl chloride (PVC);
- rubber, natural and synthetic;
- silicone rubber (SiR);
- mineral;
- cross-linked polyethylene (XLPE);
- ethylene propylene compound (EPR).

Where the insulation of conductors and cables (for example PVC) can constitute hazards due to the propagation of a fire or the emission of toxic or corrosive fumes, guidance from the cable supplier should be sought. It is important to give special attention to the integrity of a circuit having a safety-related function.

The insulation of cables and conductors used, shall be suitable for a test voltage:

- not less than 2 000 V a.c. for a duration of 5 min for operation at voltages higher than 50 V a.c. or 120 V d.c., or
- not less than 500 V a.c. for a duration of 5 min for PELV circuits (see IEC 60364-4-41, class III equipment).

The mechanical strength and thickness of the insulation shall be such that the insulation cannot be damaged in operation or during laying, especially for cables pulled into ducts.

12.4 Current-carrying capacity in normal service

The current-carrying capacity depends on several factors, for example insulation material, number of conductors in a cable, design (sheath), methods of installation, grouping and ambient temperature.

NOTE 1 Detailed information and further guidance can be found in IEC 60364-5-52, in some national standards or given by the manufacturer.

One typical example of the current-carrying capacities for PVC insulated wiring between enclosures and individual items of equipment under steady-state conditions is given in Table 6.

NOTE 2 For specific applications where the correct cable dimensioning can depend on the relationship between the period of the duty cycle and the thermal time constant of the cable (for example starting against high-inertia load, intermittent duty), the cable manufacturer should be consulted.

Table 6 – Examples of current-carrying capacity (I_z) of PVC insulated copper conductors or cables under steady-state conditions in an ambient air temperature of +40 °C for different methods of installation

	Installation method (see D.1.2)			
	B1	B2	C	E
Cross-sectional area mm ²	Current-carrying capacity I_z for three phase circuits A			
0,75	8,6	8,5	9,8	10,4
1,0	10,3	10,1	11,7	12,4
1,5	13,5	13,1	15,2	16,1
2,5	18,3	17,4	21	22
4	24	23	28	30
6	31	30	36	37
10	44	40	50	52
16	59	54	66	70
25	77	70	84	88
35	96	86	104	110
50	117	103	125	133
70	149	130	160	171
95	180	156	194	207
120	208	179	225	240
Electronic (pairs)				
0,20	Not applicable	4,3	4,4	4,4
0,5	Not applicable	7,5	7,5	7,8
0,75	Not applicable	9,0	9,5	10
NOTE 1 The values of the current-carrying capacity of Table 6 are based on: – one symmetrical three-phase circuit for cross-sectional areas 0,75 mm² and greater; – one control circuit pair for cross-sectional areas between 0,2 mm² and 0,75 mm². Where more loaded cables/pairs are installed, derate the values of Table 6 in accordance with Tables D.2 or D.3. NOTE 2 For ambient temperatures other than 40 °C, correct the current-carrying capacities by using values given in Table D.1. NOTE 3 These values are not applicable to flexible cables wound on drums (see 12.6.3). NOTE 4 For the current-carrying capacities of other cables, see IEC 60364-5-52.				

12.5 Conductor and cable voltage drop

The voltage drop from the point of supply to the load shall not exceed 5 % of the nominal voltage under normal operating conditions. In order to conform to this requirement, it can be necessary to use conductors having a larger cross-sectional area than that derived from Table 6.

12.6 Flexible cables

12.6.1 General

Flexible cables shall have Class 5 or Class 6 conductors.

NOTE 1 Class 6 conductors have smaller diameter strands and are more flexible than Class 5 conductors (see Table D.4).

Cables that are subjected to severe duties shall be of adequate construction to protect against:

- abrasion due to mechanical handling and dragging across rough surfaces;
- kinking due to operation without guides;
- stress resulting from guide rollers and forced guiding, being wound and re-wound on cable drums.

NOTE 2 Cables for such conditions are specified in relevant national standards.

NOTE 3 The operational life of the cable will be reduced where unfavourable operating conditions, such as high tensile stress, small radii, bending into another plane and/or where frequent duty cycles coincide.

12.6.2 Mechanical rating

The cable handling system of the machine shall be so designed to keep the tensile stress of the conductors as low as is practicable during machine operations. Where copper conductors are used, the tensile stress applied to the conductors shall not exceed 15 N/mm² of the copper cross-sectional area. Where the demands of the application exceed the tensile stress limit of 15 N/mm², cables with special construction features should be used and the allowed maximal tensile stress should be agreed with the cable manufacturer.

The maximum stress applied to the conductors of flexible cables with material other than copper shall be within the cable manufacturer's specification.

NOTE The following conditions affect the tensile stress on the conductors:

- acceleration forces;
- speed of motion;
- dead (hanging) weight of the cables;
- method of guiding;
- design of cable drum system.

12.6.3 Current-carrying capacity of cables wound on drums

Cables to be wound on drums shall be selected with conductors having a cross-sectional area such that, when fully wound on the drum and carrying the normal service load, the maximum allowable conductor temperature is not exceeded.

For cables of circular cross-sectional area installed on drums, the maximum current-carrying capacity in free air should be derated in accordance with Table 7 (see also Clause 44 of IEC 60621-3).

NOTE The current-carrying capacity of cables in free air can be found in manufacturers' specifications or in relevant national standards.

Table 7 – Derating factors for cables wound on drums

Drum type	Number of layers of cable				
	Any number	1	2	3	4
Cylindrical ventilated	–	0,85	0,65	0,45	0,35
Radial ventilated	0,85	–	–	–	–
Radial non-ventilated	0,75	–	–	–	–

NOTE 1 A radial type drum is one where spiral layers of cable are accommodated between closely spaced flanges; if fitted with solid flanges, the drum is described as non-ventilated and if the flanges have suitable apertures, as ventilated.

NOTE 2 A ventilated cylinder drum is one where the layers of cable are accommodated between widely spaced flanges and the drum and end flanges have ventilating apertures.

NOTE 3 It is recommended that the use of derating factors be discussed with the cable and the cable drum manufacturers. This may result in other factors being used.

12.7 Conductor wires, conductor bars and slip-ring assemblies

12.7.1 Protection against direct contact

Conductor wires, conductor bars and slip-ring assemblies shall be installed or enclosed in such a way that, during normal access to the machine, protection against direct contact is achieved by the application of one of the following protective measures:

- protection by partial insulation of live parts, or where this is not practicable;
- protection by enclosures or barriers of at least IP2X (see 412.2 of IEC 60364-4-41).

Horizontal top surfaces of barriers or enclosures that are readily accessible shall provide a degree of protection of at least IP4X (see 412.2.2 of IEC 60364-4-41).

Where the required degree of protection is not achieved, protection by placing live parts out of reach in combination with emergency switching off in accordance with 9.2.5.4.3 shall be applied.

Conductor wires and conductor bars shall be so placed and/or protected as to:

- prevent contact, especially for unprotected conductor wires and conductor bars, with conductive items such as the cords of pull-cord switches, strain-relief devices and drive chains;
- prevent damage from a swinging load.

12.7.2 Protective conductor circuit

Where conductor wires, conductor bars and slip-ring assemblies are installed as part of the protective bonding circuit, they shall not carry current in normal operation. Therefore, the protective conductor (PE) and the neutral conductor (N) shall each use a separate conductor wire, conductor bar or slip-ring. The continuity of the protective conductor circuit using sliding contacts shall be ensured by taking appropriate measures (for example, duplication of the current collector, continuity monitoring).

12.7.3 Protective conductor current collectors

Protective conductor current collectors shall have a shape or construction so that they are not interchangeable with the other current collectors. Such current collectors shall be of the sliding contact type.

12.7.4 Removable current collectors with a disconnecter function

Removable current collectors having a disconnecter function shall be so designed that the protective conductor circuit is interrupted only after the live conductors have been disconnected, and the continuity of the protective conductor circuit is re-established before any live conductor is reconnected (see also 8.2.4).

12.7.5 Clearances in air

Clearances between the respective conductors, and between adjacent systems, of conductor wires, conductor bars, slip-ring assemblies and their current collectors shall be suitable for at least a rated impulse voltage of an overvoltage category III in accordance with IEC 60664-1.

12.7.6 Creepage distances

Creepage distances between the respective conductors, between adjacent systems of conductor wires, conductor bars and slip-ring assemblies, and their current collectors shall be suitable for operation in the intended environment, for example open air (IEC 60664-1), inside buildings, protected by enclosures.

In abnormally dusty, moist or corrosive environments, the following creepage distance requirements apply:

- unprotected conductor wires, conductor bars, and slip-ring assemblies shall be equipped with insulators with a minimum creepage distance of 60 mm;
- enclosed conductor wires, insulated multipole conductor bars and insulated individual conductor bars shall have a minimum creepage distance of 30 mm.

The manufacturer's recommendations shall be followed regarding special measures to prevent a gradual reduction in the insulation values due to unfavourable ambient conditions (for example deposits of conductive dust, chemical attack).

12.7.7 Conductor system sectioning

Where conductor wires or conductor bars are arranged so that they can be divided into isolated sections, suitable design measures shall be employed to prevent the energization of adjacent sections by the current collectors themselves.

12.7.8 Construction and installation of conductor wire, conductor bar systems and slip-ring assemblies

Conductor wires, conductor bars and slip-ring assemblies in power circuits shall be grouped separately from those in control circuits.

Conductor wires, conductor bars and slip-ring assemblies shall be capable of withstanding, without damage, the mechanical forces and thermal effects of short-circuit currents.

Removable covers for conductor wire and conductor bar systems laid underground or underfloor shall be so designed that they cannot be opened by one person without the aid of a tool.

Where conductor bars are installed in a common metal enclosure, the individual sections of the enclosure shall be bonded together and connected to a protective bonding conductor at several points depending upon their length. Metal covers of conductor bars laid underground or underfloor shall also be bonded together and connected to a protective bonding conductor.

NOTE For the protective bonding together of covers or cover plates of metal enclosures or underfloor ducts, the metal hinges are considered sufficient to ensure continuity.

Underground and underfloor conductor bar ducts shall have drainage facilities.

13 Wiring practices

13.1 Connections and routing

13.1.1 General requirements

All connections, especially those of the protective bonding circuit, shall be secured against accidental loosening.

The means of connection shall be suitable for the cross-sectional areas and nature of the conductors being terminated.

The connection of two or more conductors to one terminal is permitted only in those cases where the terminal is designed for that purpose. However, only one protective conductor shall be connected to one terminal connecting point.

Soldered connections shall only be permitted where terminals are provided that are suitable for soldering.

Terminals on terminal blocks shall be plainly marked or labelled to correspond with markings on the diagrams.

Where an incorrect electrical connection (for example, arising from replacement of devices) can be a source of risk and it is not practicable to reduce the possibility of incorrect connection by design measures, the conductors and/or terminations shall be identified in accordance with 13.2.1.

The installation of flexible conduits and cables shall be such that liquids shall drain away from the fittings.

Means of retaining conductor strands shall be provided when terminating conductors at devices or terminals that are not equipped with this facility. Solder shall not be used for that purpose.

Shielded conductors shall be so terminated as to prevent fraying of strands and to permit easy disconnection.

Identification tags shall be legible, permanent, and appropriate for the physical environment.

Terminal blocks shall be mounted and wired so that the internal and external wiring does not cross over the terminals (see IEC 60947-7-1).

13.1.2 Conductor and cable runs

Conductors and cables shall be run from terminal to terminal without splices or joints. Connections using plug/socket combinations with suitable protection against accidental disconnection are not considered to be joints for the purpose of this Subclause.

Exception: Where it is impracticable to provide terminals in a junction box (for example on mobile machines, on machines having long flexible cables; cable connections exceeding a length which is not practical to be supplied by the cable manufacturer on one cable drum; repair of cable due to mechanical stresses during installation and operation), splices or joints may be used.

Where it is necessary to connect and disconnect cables and cable assemblies, a sufficient extra length shall be provided for that purpose.

The terminations of cables shall be adequately supported to prevent mechanical stresses at the terminations of the conductors.

Wherever practicable, the protective conductor shall be placed close to the associated live conductors in order to decrease the impedance of the loop.

13.1.3 Conductors of different circuits

Conductors of different circuits may be laid side by side, may occupy the same duct (for example conduit, cable trunking system), or may be in the same multiconductor cable provided that the arrangement does not impair the proper functioning of the respective circuits. Where those circuits operate at different voltages, the conductors shall be separated by suitable barriers or shall be insulated for the highest voltage to which any conductor within the same duct can be subjected, for example line to line voltage for unearthed systems and phase to earth voltage for earthed systems.

13.1.4 Connection between pick-up and pick-up converter of an inductive power supply system

The cable between the pick-up and the pick-up converter as specified by the manufacturer of the inductive power supply shall be:

- as short as practicable;
- adequately protected against mechanical damage.

NOTE The output of the pick-up can be a current source, therefore damage to the cable can result in a high voltage hazard.

13.2 Identification of conductors

13.2.1 General requirements

Each conductor shall be identifiable at each termination in accordance with the technical documentation (see Clause 17).

It is recommended (for example to facilitate maintenance) that conductors be identified by number, alphanumeric, colour (either solid or with one or more stripes), or a combination of colour and numbers or alphanumeric. When numbers are used, they shall be Arabic; letters shall be Roman (either upper or lower case).

NOTE Annex B can be used for agreement between supplier and user regarding a preferred method of identification.

13.2.2 Identification of the protective conductor

The protective conductor shall be readily distinguishable by shape, location, marking, or colour. When identification is by colour alone, the bicolour combination GREEN-AND-YELLOW shall be used throughout the length of the conductor. This colour identification is strictly reserved for the protective conductor.

For insulated conductors, the bicolour combination GREEN-AND-YELLOW shall be such that on any 15 mm length, one of the colours covers at least 30 % and not more than 70 % of the surface of the conductor, the other colour covering the remainder of the surface.

Where the protective conductor can be easily identified by its shape, position, or construction (for example a braided conductor, uninsulated stranded conductor), or where the insulated conductor is not readily accessible, colour coding throughout its length is not necessary but the ends or accessible locations shall be clearly identified by the graphical symbol IEC 60417-5019 (DB:2002-10) or by the bicolour combination GREEN-AND-YELLOW.

13.2.3 Identification of the neutral conductor

Where a circuit includes a neutral conductor that is identified by colour alone, the colour used for this conductor shall be BLUE. In order to avoid confusion with other colours, it is recommended that an unsaturated blue be used, called here "light blue" (see 3.2.2 of IEC 60446). Where the selected colour is the sole identification of the neutral conductor, that colour shall not be used for identifying any other conductor where confusion is possible.

Where identification by colour is used, bare conductors used as neutral conductors shall be either coloured by a stripe, 15 mm to 100 mm wide in each compartment or unit and at each accessible location, or coloured throughout their length.

13.2.4 Identification by colour

Where colour-coding is used for identification of conductors (other than the protective conductor (see 13.2.2) and the neutral conductor (see 13.2.3)), the following colours may be used:

BLACK, BROWN, RED, ORANGE, YELLOW, GREEN, BLUE (including LIGHT BLUE), VIOLET, GREY, WHITE, PINK, TURQUOISE.

NOTE This list of colours is derived from IEC 60757.

It is recommended that, where colour is used for identification, the colour be used throughout the length of the conductor either by the colour of the insulation or by colour markers at regular intervals and at the ends or accessible location.

For safety reasons, the colour GREEN or the colour YELLOW should not be used where there is a possibility of confusion with the bicolour combination GREEN-AND-YELLOW (see 13.2.2).

Colour identification using combinations of those colours listed above may be used provided there can be no confusion and that GREEN or YELLOW is not used except in the bicolour combination GREEN-AND-YELLOW.

Where colour-coding is used for identification of conductors, it is recommended that they be colour-coded as follows:

- BLACK: a.c. and d.c. power circuits;
- RED: a.c. control circuits;

- BLUE: d.c. control circuits;
- ORANGE: excepted circuits in accordance with 5.3.5.

Exceptions: to the above are permitted where:

- insulation is used that is not available in the colours recommended; or
- multiconductor cable is used, but not the bicolour combination GREEN-AND-YELLOW.

13.3 Wiring inside enclosures

Conductors inside enclosures shall be supported where necessary to keep them in place. Non-metallic ducts shall be permitted only when they are made with a flame-retardant insulating material (see the IEC 60332 series).

It is recommended that electrical equipment mounted inside enclosures be designed and constructed in such a way as to permit modification of the wiring from the front of the enclosure (see also 11.2.1). Where that is not practicable and control devices are connected from the rear of the enclosure, access doors or swingout panels shall be provided.

Connections to devices mounted on doors or to other movable parts shall be made using flexible conductors in accordance with 12.2 and 12.6 to allow for the frequent movement of the part. The conductors shall be anchored to the fixed part and to the movable part independently of the electrical connection (see also 8.2.3 and 11.2.1).

Conductors and cables that do not run in ducts shall be adequately supported.

Terminal blocks or plug/socket combinations shall be used for control wiring that extends beyond the enclosure. For plug/socket combinations, see also 13.4.5 and 13.4.6.

Power cables and cables of measuring circuits may be directly connected to the terminals of the devices for which the connections were intended.

13.4 Wiring outside enclosures

13.4.1 General requirements

The means of introduction of cables or ducts with their individual glands, bushings, etc., into an enclosure shall ensure that the degree of protection is not reduced (see 11.3).

13.4.2 External ducts

Conductors and their connections external to the electrical equipment enclosure(s) shall be enclosed in suitable ducts (i.e. conduit or cable trunking systems) as described in 13.5 except for suitably protected cables that may be installed without ducts and with or without the use of open cable trays or cable support means. Where devices such as position switches or proximity switches are supplied with a dedicated cable, their cable need not be enclosed in a duct when the cable is suitable for the purpose, sufficiently short, and so located or protected, that the risk of damage is minimized.

Fittings used with ducts or multiconductor cable shall be suitable for the physical environment.

Flexible conduit or flexible multiconductor cable shall be used where it is necessary to employ flexible connections to pendant push-button stations. The weight of the pendant stations shall be supported by means other than the flexible conduit or the flexible multiconductor cable, except where the conduit or cable is specifically designed for that purpose.

13.4.3 Connection to moving elements of the machine

Connections to frequently moving parts shall be made using conductors in accordance with 12.2 and 12.6. Flexible cable and flexible conduit shall be so installed as to avoid excessive flexing and straining, particularly at the fittings.

Cables subject to movement shall be supported in such a way that there is no mechanical strain on the connection points nor any sharp flexing. When this is achieved by the provision of a loop, it shall have sufficient length to provide for a bending radius of the cable of at least 10 times the diameter of the cable.

Flexible cables of machines shall be so installed or protected as to minimize the possibility of external damage due to factors that include the following cable use or potential abuse:

- being run over by the machine itself;
- being run over by vehicles or other machines;
- coming into contact with the machine structure during movements;
- running in and out of cable baskets, or on or off cable drums;
- acceleration forces and wind forces on festoon systems or suspended cables;
- excessive rubbing by cable collector;
- exposure to excessive radiated heat.

The cable sheath shall be resistant to the normal wear that can be expected from movement and to the effects of environmental contaminants (for example oil, water, coolants, dust).

Where cables subject to movement are close to moving parts, precautions shall be taken to maintain a space of at least 25 mm between the moving parts and the cables. Where that distance is not practicable, fixed barriers shall be provided between the cables and the moving parts.

The cable handling system shall be so designed that lateral cable angles do not exceed 5°, avoiding torsion in the cable when:

- being wound on and off cable drums; and
- approaching and leaving cable guidance devices.

Measures shall be taken to ensure that at least two turns of flexible cables always remain on a drum.

Devices serving to guide and carry a flexible cable shall be so designed that the inner bending radius at all points where the cable is bent is not less than the values given in Table 8, unless otherwise agreed with the cable manufacturer, taking into account the permissible tension and the expected fatigue life.

Table 8 – Minimum permitted bending radii for the forced guiding of flexible cables

Application	Cable diameter or thickness of flat cable (d) mm		
	$d \leq 8$	$8 < d \leq 20$	$d > 20$
Cable drums	$6 d$	$6 d$	$8 d$
Guide rollers	$6 d$	$8 d$	$8 d$
Festoon systems	$6 d$	$6 d$	$8 d$
All others	$6 d$	$6 d$	$8 d$

The straight section between two bends shall be at least 20 times the diameter of the cable.

Where flexible conduit is adjacent to moving parts, the construction and supporting means shall prevent damage to the flexible conduit under all conditions of operation.

Flexible conduit shall not be used for connections subject to rapid or frequent movements except when specifically designed for that purpose.

13.4.4 Interconnection of devices on the machine

Where several machine-mounted switching devices (for example position sensors, push-buttons) are connected in series or in parallel, it is recommended that the connections between those devices be made through terminals forming intermediate test points. Such terminals shall be conveniently placed, adequately protected, and shown on the relevant diagrams.

13.4.5 Plug/socket combinations

Where plug/socket combinations are provided, they shall fulfil one or more of the following requirements as applicable:

Exception: The following requirements do not apply to components or devices inside an enclosure, terminated by fixed plug/socket combinations (no flexible cable), or components connected to a bus system by a plug/socket combination.

- When installed correctly in accordance with f), plug/socket combinations shall be of such a type as to prevent unintentional contact with live parts at any time, including during insertion or removal of the connectors. The degree of protection shall be at least IPXXB. PELV circuits are excepted from this requirement.
- Have a first make last break protective bonding contact (earthing contact) (see also 6.3, 8.2.4) if used in TN- or TT-systems.
- Plug/socket combinations intended to be connected or disconnected during load conditions shall have sufficient load-breaking capacity. Where the plug/socket combination is rated at 30 A, or greater, it shall be interlocked with a switching device so that the connection and disconnection is possible only when the switching device is in the OFF position.
- Plug/socket combinations that are rated at more than 16 A shall have a retaining means to prevent unintended or accidental disconnection.
- Where an unintended or accidental disconnection of plug/socket combinations can cause a hazardous situation, they shall have a retaining means.

The installation of plug/socket combinations shall fulfil the following requirements as applicable:

- f) The component which remains live after disconnection shall have a degree of protection of at least IP2X or IPXXB, taking into account the required clearance and creepage distances. PELV circuits are excepted from this requirement.
- g) Metallic housings of plug/socket combinations shall be connected to the protective bonding circuit. PELV circuits are excepted from this requirement.
- h) Plug/socket combinations intended to carry power loads but not to be disconnected during load conditions shall have a retaining means to prevent unintended or accidental disconnection and shall be clearly marked that they are not intended to be disconnected under load.
- i) Where more than one plug/socket combination is provided in the same electrical equipment, the associated combinations shall be clearly identifiable. It is recommended that mechanical coding be used to prevent incorrect insertion.
- j) Plug/socket combinations used in control circuits shall fulfil the applicable requirements of IEC 61984. **Exception:** see item k).
- k) Plug/socket combinations intended for household and similar general purposes shall not be used for control circuits. In plug/socket combinations in accordance with IEC 60309-1, only those contacts shall be used for control circuits which are intended for those purposes.

Exception: The requirements of item k) do not apply to control functions using high frequency signals on the power supply.

13.4.6 Dismantling for shipment

Where it is necessary that wiring be disconnected for shipment, terminals or plug/socket combinations shall be provided at the sectional points. Such terminals shall be suitably enclosed and plug/socket combinations shall be protected from the physical environment during transportation and storage.

13.4.7 Additional conductors

Consideration should be given to providing additional conductors for maintenance or repair. When spare conductors are provided, they shall be connected to spare terminals or isolated in such a manner as to prevent contact with live parts.

13.5 Ducts, connection boxes and other boxes

13.5.1 General requirements

Ducts shall provide a degree of protection suitable for the application (see IEC 60529).

All sharp edges, flash, burrs, rough surfaces, or threads with which the insulation of the conductors can come in contact shall be removed from ducts and fittings. Where necessary, additional protection consisting of a flame-retardant, oil-resistant insulating material shall be provided to protect conductor insulation.

Drain holes of 6 mm diameter are permitted in cable trunking systems, connection boxes, and other boxes used for wiring purposes that can be subject to accumulations of oil or moisture.

In order to prevent confusion of conduits with oil, air, or water piping, it is recommended that the conduits be either physically separated or suitably identified.

Ducts and cable trays shall be rigidly supported and positioned at a sufficient distance from moving parts and in such a manner so as to minimize the possibility of damage or wear. In areas where human passage is required, the ducts and cable trays shall be mounted at least 2 m above the working surface.

Ducts shall be provided only for mechanical protection (see 8.2.3 for requirements for connection to the protective bonding circuit).

Cable trays that are partially covered should not be considered to be ducts or cable trunking systems (see 13.5.6), and the cables used shall be of a type suitable for installation with or without the use of open cable trays or cable support means.

13.5.2 Percentage fill of ducts

Consideration of the percentage fill of ducts should be based on the straightness and length of the duct and the flexibility of the conductors. It is recommended that the dimensions and arrangement of the ducts be such as to facilitate the insertion of the conductors and cables.

13.5.3 Rigid metal conduit and fittings

Rigid metal conduit and fittings shall be of galvanized steel or of a corrosion-resistant material suitable for the conditions. The use of dissimilar metals in contact that can cause galvanic action should be avoided.

Conduits shall be securely held in place and supported at each end.

Fittings shall be compatible with the conduit and appropriate for the application. Fittings shall be threaded unless structural difficulties prevent assembly. Where threadless fittings are used, the conduit shall be securely fastened to the equipment.

Conduit bends shall be made in such a manner that the conduit shall not be damaged and the internal diameter of the conduit shall not be effectively reduced.

13.5.4 Flexible metal conduit and fittings

A flexible metal conduit shall consist of a flexible metal tubing or woven wire armour. It shall be suitable for the expected physical environment.

Fittings shall be compatible with the conduit and appropriate for the application.

13.5.5 Flexible non-metallic conduit and fittings

Flexible non-metallic conduit shall be resistant to kinking and shall have physical characteristics similar to those of the sheath of multiconductor cables.

The conduit shall be suitable for use in the expected physical environment.

Fittings shall be compatible with the conduit and appropriate for the application.

13.5.6 Cable trunking systems

Cable trunking systems external to enclosures shall be rigidly supported and clear of all moving or contaminating portions of the machine.

Covers shall be shaped to overlap the sides; gaskets shall be permitted. Covers shall be attached to cable trunking systems by suitable means. On horizontal cable trunking systems, the cover shall not be on the bottom unless specifically designed for such installation.

NOTE Requirements for cable trunking and ducting systems for electrical installations are given in the IEC 61084 series.

Where the cable trunking system is furnished in sections, the joints between sections shall fit tightly but need not be gasketed.

The only openings permitted shall be those required for wiring or for drainage. Cable trunking systems shall not have opened but unused knockouts.

13.5.7 Machine compartments and cable trunking systems

The use of compartments or cable trunking systems within the column or base of a machine to enclose conductors is permitted provided the compartments or cable trunking systems are isolated from coolant or oil reservoirs and are entirely enclosed. Conductors run in enclosed compartments and cable trunking systems shall be so secured and arranged that they are not subject to damage.

13.5.8 Connection boxes and other boxes

Connection boxes and other boxes used for wiring purposes shall be accessible for maintenance. Those boxes shall provide protection against the ingress of solid bodies and liquids, taking into account the external influences under which the machine is intended to operate (see 11.3).

Those boxes shall not have opened but unused knockouts nor any other openings and shall be so constructed as to exclude materials such as dust, flyings, oil, and coolant.

13.5.9 Motor connection boxes

Motor connection boxes shall enclose only connections to the motor and motor-mounted devices (for example brakes, temperature sensors, plugging switches, tachometer generators).

14 Electric motors and associated equipment

14.1 General requirements

Electric motors should conform to the relevant parts of IEC 60034 series.

The protection requirements for motors and associated equipment are given in 7.2 for overcurrent protection, in 7.3 for overload protection, and in 7.6 for overspeed protection.

As many controllers do not switch off the supply to a motor when it is at rest, care shall be taken to ensure compliance with the requirements of 5.3, 5.4, 5.5, 7.5, 7.6 and 9.4. Motor control equipment shall be located and mounted in accordance with Clause 11.

14.2 Motor enclosures

It is recommended that motor enclosures be chosen from those included in IEC 60034-5.

The degree of protection shall be at least IP23 (see IEC 60529) for all motors. More stringent requirements can be needed depending on the application and the physical environment (see 4.4). Motors incorporated as an integral part of the machine shall be so mounted that they are adequately protected from mechanical damage.

14.3 Motor dimensions

As far as is practicable, the dimensions of motors shall conform to those given in the IEC 60072 series.

14.4 Motor mounting and compartments

Each motor and its associated couplings, belts, pulleys, or chains, shall be so mounted that they are adequately protected and are easily accessible for inspection, maintenance, adjustment and alignment, lubrication, and replacement. The motor mounting arrangement shall be such that all motor hold-down means can be removed and all terminal boxes are accessible.

Motors shall be so mounted that proper cooling is ensured and the temperature rise remains within the limits of the insulation class (see IEC 60034-1).

Where practicable, motor compartments should be clean and dry, and when required, shall be ventilated directly to the exterior of the machine. The vents shall be such that ingress of swarf, dust, or water spray is at an acceptable level.

There shall be no opening between the motor compartment and any other compartment that does not meet the motor compartment requirements. Where a conduit or pipe is run into the motor compartment from another compartment not meeting the motor compartment requirements, any clearance around the conduit or pipe shall be sealed.

14.5 Criteria for motor selection

The characteristics of motors and associated equipment shall be selected in accordance with the anticipated service and physical environmental conditions (see 4.4). In this respect, the points that shall be considered include:

- type of motor;
- type of duty cycle (see IEC 60034-1);
- fixed speed or variable speed operation, (and the consequent variable influence of the ventilation);
- mechanical vibration;
- type of motor control;

- influence of the harmonic spectrum of the voltage and/or current feeding the motor (particularly when it is supplied from a static converter) on the temperature rise;
- method of starting and the possible influence of the inrush current on the operation of other users of the same power supply, taking also into account possible special considerations stipulated by the supply authority;
- variation of counter-torque load with time and speed;
- influence of loads with large inertia;
- influence of constant torque or constant power operation;
- possible need of inductive reactors between motor and converter.

14.6 Protective devices for mechanical brakes

Operation of the overload and overcurrent protective devices for mechanical brake actuators shall initiate the simultaneous de-energization (release) of the associated machine actuators.

NOTE Associated machine actuators are those associated with the same motion, for example cable drums and long-travel drives.

15 Accessories and lighting

15.1 Accessories

Where the machine or its associated equipment is provided with socket-outlets that are intended to be used for accessory equipment (for example hand-held power tools, test equipment), the following apply:

- the socket-outlets should conform to IEC 60309-1. Where that is not practicable, they should be clearly marked with the voltage and current ratings;
- the continuity of the protective bonding circuit to the socket-outlet shall be ensured except where protection is provided by PELV;
- all unearthed conductors connected to the socket-outlet shall be protected against overcurrent and, when required, against overload in accordance with 7.2 and 7.3 separately from the protection of other circuits;
- where the power supply to the socket-outlet is not disconnected by the supply disconnecting device for the machine or the section of the machine, the requirements of 5.3.5 apply.

NOTE 1 See also Annex B.

NOTE 2 Circuits for socket-outlets can be provided with residual current protective devices (RCDs).

15.2 Local lighting of the machine and equipment

15.2.1 General

Connections to the protective bonding circuit shall be in accordance with 8.2.2.

The ON/OFF switch shall not be incorporated in the lampholder or in the flexible connecting cords.

Stroboscopic effects from lights shall be avoided by the selection of appropriate luminaires.

Where fixed lighting is provided in an enclosure, electromagnetic compatibility should be taken into account using the principles outlined in 4.4.2.

15.2.2 Supply

The nominal voltage of the local lighting circuit shall not exceed 250 V between conductors. A voltage not exceeding 50 V between conductors is recommended.

Lighting circuits shall be supplied from one of the following sources (see also 7.2.6):

- a dedicated isolating transformer connected to the load side of the supply disconnecting device. Overcurrent protection shall be provided in the secondary circuit;
- a dedicated isolating transformer connected to the line side of the supply disconnecting device. That source shall be permitted for maintenance lighting circuits in control enclosures only. Overcurrent protection shall be provided in the secondary circuit (see also 5.3.5 and 13.1.3);
- a machine circuit with dedicated overcurrent protection;
- an isolating transformer connected to the line side of the supply disconnecting device, provided with a dedicated primary disconnecting means (see 5.3.5) and secondary overcurrent protection, and mounted within the control enclosure adjacent to the supply disconnecting device (see also 13.1.3);
- an externally supplied lighting circuit (for example factory lighting supply). This shall be permitted in control enclosures only, and for the machine work light(s) where their total power rating is not more than 3 kW.

Exception: where fixed lighting is out of reach of operators during normal operations, the provisions of this Subclause do not apply.

15.2.3 Protection

Local lighting circuits shall be protected in accordance with 7.2.6.

15.2.4 Fittings

Adjustable lighting fittings shall be suitable for the physical environment.

The lampholders shall be:

- in accordance with the relevant IEC standard;
- constructed with an insulating material protecting the lamp cap so as to prevent unintentional contact.

Reflectors shall be supported by a bracket and not by the lampholder.

Exception: where fixed lighting is out of reach of operators during normal operation, the provisions of this Subclause do not apply.

16 Marking, warning signs and reference designations

16.1 General

Warning signs, nameplates, markings, and identification plates shall be of sufficient durability to withstand the physical environment involved.

16.2 Warning signs

16.2.1 Electric shock hazard

Enclosures that do not otherwise clearly show that they contain electrical equipment that can give rise to a risk of electric shock shall be marked with the graphical symbol IEC 60417-5036 (DB:2002-10).



The warning sign shall be plainly visible on the enclosure door or cover.

The warning sign may be omitted (see also 6.2.2 b)) for:

- an enclosure equipped with a supply disconnecting device;
- an operator-machine interface or control station;
- a single device with its own enclosure (for example position sensor).

16.2.2 Hot surfaces hazard

Where the risk assessment shows the need to warn against the possibility of hazardous surface temperatures of the electrical equipment, the graphical symbol IEC 60417-5041 (DB:2002-10) shall be used.



NOTE For electrical installations, this measure is dealt with in IEC 60364-4-42, Clause 423 and Table 42A.

16.3 Functional identification

Control devices, visual indicators, and displays (particularly those related to safety) shall be clearly and durably marked with regard to their functions either on or adjacent to the item. Such markings may be as agreed between the user and the supplier of the equipment (see Annex B). Preference should be given to the use of standard symbols given in IEC 60417-DB:2002 and ISO 7000.

16.4 Marking of equipment

Equipment (for example controlgear assemblies) shall be legibly and durably marked in a way that is plainly visible after the equipment is installed. A nameplate giving the following information shall be attached to the enclosure adjacent to each incoming supply:

- name or trade mark of supplier;
- certification mark, when required;
- serial number, where applicable;
- rated voltage, number of phases and frequency (if a.c.), and full-load current for each supply;

- short-circuit rating of the equipment;
- main document number (see IEC 62023).

The full-load current shown on the nameplate shall be not less than the running currents for all motors and other equipment that can be in operation at the same time under normal conditions.

Where only a single motor controller is used, that information may instead be provided on the machine nameplate where it is plainly visible.

16.5 Reference designations

All enclosures, assemblies, control devices, and components shall be plainly identified with the same reference designation as shown in the technical documentation.

17 Technical documentation

17.1 General

The information necessary for installation, operation, and maintenance of the electrical equipment of a machine shall be supplied in the appropriate forms, for example, drawings, diagrams, charts, tables, instructions. The information shall be in an agreed language (see also Annex B). The information provided may vary with the complexity of the electrical equipment. For very simple equipment, the relevant information may be contained in one document, provided that the document shows all the devices of the electrical equipment and enables the connections to the supply network to be made.

NOTE 1 The technical documentation provided with items of electrical equipment can form part of the documentation of the electrical equipment of the machine.

NOTE 2 In some countries, the requirement to use specific language(s) is covered by legal requirements.

17.2 Information to be provided

The information provided with the electrical equipment shall include:

- a) A main document (parts list or list of documents);
- b) Complementary documents including:
 - 1) a clear, comprehensive description of the equipment, installation and mounting, and the connection to the electrical supply(ies);
 - 2) electrical supply(ies) requirements;
 - 3) information on the physical environment (for example lighting, vibration, noise levels, atmospheric contaminants) where appropriate;
 - 4) overview (block) diagram(s) where appropriate;
 - 5) circuit diagram(s);
 - 6) information (as applicable) on:
 - programming, as necessary for use of the equipment;
 - sequence of operation(s);
 - frequency of inspection;
 - frequency and method of functional testing;
 - guidance on the adjustment, maintenance, and repair, particularly of the protective devices and circuits;
 - recommended spare parts list; and
 - list of tools supplied.

- 7) a description (including interconnection diagrams) of the safeguards, interlocking functions, and interlocking of guards against hazards, particularly for machines operating in a co-ordinated manner;
- 8) a description of the safeguarding and of the means provided where it is necessary to suspend the safeguarding (for example for setting or maintenance), (see 9.2.4);
- 9) instructions on the procedures for securing the machine for safe maintenance; (see also 17.8);
- 10) information on handling, transportation and storage;
- 11) information regarding load currents, peak starting currents and permitted voltage drops, as applicable;
- 12) information on the residual risks due to the protection measures adopted, indication of whether any particular training is required and specification of any necessary personal protective equipment.

17.3 Requirements applicable to all documentation

Unless otherwise agreed between manufacturer and user:

- the documentation shall be in accordance with relevant parts of IEC 61082;
- reference designations shall be in accordance with relevant parts of IEC 61346;
- instructions/manuals shall be in accordance with IEC 62079;
- parts lists where provided shall be in accordance with IEC 62027, class B.

NOTE See item 13 of Annex B.

For referencing of the different documents, the supplier shall select one of the following methods:

- where the documentation consists of a small number of documents (for example less than 5) each of the documents shall carry as a cross-reference the document numbers of all other documents belonging to the electrical equipment; or
- for single level main documents only (see IEC 62023), all documents shall be listed with document numbers and titles in a drawing or document list; or
- all documents of a certain level (see IEC 62023) of the document structure shall be listed, with document numbers and titles, in a parts list belonging to the same level.

17.4 Installation documents

The installation documents shall give all information necessary for the preliminary work of setting up the machine (including commissioning). In complex cases, it may be necessary to refer to the assembly drawings for details.

The recommended position, type, and cross-sectional areas of the supply cables to be installed on site shall be clearly indicated.

The data necessary for choosing the type, characteristics, rated currents, and setting of the overcurrent protective device(s) for the supply conductors to the electrical equipment of the machine shall be stated (see 7.2.2).

Where necessary, the size, purpose, and location of any ducts in the foundation that are to be provided by the user shall be detailed (see Annex B).

The size, type, and purpose of ducts, cable trays, or cable supports between the machine and the associated equipment that are to be provided by the user shall be detailed (see Annex B).

Where necessary, the diagram shall indicate where space is required for the removal or servicing of the electrical equipment.

NOTE 1 Examples of installation diagrams can be found in IEC 61082-4.

In addition, where it is appropriate, an interconnection diagram or table shall be provided. That diagram or table shall give full information about all external connections. Where the electrical equipment is intended to be operated from more than one source of electrical supply, the interconnection diagram or table shall indicate the modifications or interconnections required for the use of each supply.

NOTE 2 Examples of interconnection diagrams/tables can be found in IEC 61082-3.

17.5 Overview diagrams and function diagrams

Where it is necessary to facilitate the understanding of the principles of operation, an overview diagram shall be provided. An overview diagram symbolically represents the electrical equipment together with its functional interrelationships without necessarily showing all of the interconnections.

NOTE 1 Examples of overview diagrams can be found in IEC 61082 series.

Function diagrams may be provided as either part of, or in addition to, the overview diagram.

NOTE 2 Examples of function diagrams can be found in IEC 61082-2.

17.6 Circuit diagrams

A circuit diagram(s) shall be provided. This diagram(s) shall show the electrical circuits on the machine and its associated electrical equipment. Any graphical symbol not shown in IEC 60617-DB:2001 shall be separately shown and described on the diagrams or supporting documents. The symbols and identification of components and devices shall be consistent throughout all documents and on the machine.

Where appropriate, a diagram showing the terminals for interface connections shall be provided. That diagram may be used in conjunction with the circuit diagram(s) for simplification. The diagram should contain a reference to the detailed circuit diagram of each unit shown.

Switch symbols shall be shown on the electromechanical diagrams with all supplies turned off (for example electricity, air, water, lubricant) and with the machine and its electrical equipment ready for a normal start.

Conductors shall be identified in accordance with 13.2.

Circuits shall be shown in such a way as to facilitate the understanding of their function as well as maintenance and fault location. Characteristics relating to the function of the control devices and components which are not evident from their symbolic representation shall be included on the diagrams adjacent to the symbol or referenced to a footnote.

17.7 Operating manual

The technical documentation shall contain an operating manual detailing proper procedures for set-up and use of the electrical equipment. Particular attention should be given to the safety measures provided.

Where the operation of the equipment can be programmed, detailed information on methods of programming, equipment required, program verification, and additional safety procedures (where required) shall be provided.

17.8 Maintenance manual

The technical documentation shall contain a maintenance manual detailing proper procedures for adjustment, servicing and preventive inspection, and repair. Recommendations on maintenance/service intervals and records should be part of that manual. Where methods for the verification of proper operation are provided (for example software testing programs), the use of those methods shall be detailed.

17.9 Parts list

The parts list, where provided, shall comprise, as a minimum, information necessary for ordering spare or replacement parts (for example components, devices, software, test equipment, technical documentation) required for preventive or corrective maintenance including those that are recommended to be carried in stock by the user of the equipment.

18 Verification

18.1 General

This part of IEC 60204 gives general requirements for the electrical equipment of machines.

The extent of verification will be given in the dedicated product standard for a particular machine. Where there is no dedicated product standard for the machine, the verifications shall always include the items a), b) and f) and may include one or more of the items c) to e):

- a) verification that the electrical equipment complies with its technical documentation;
- b) in case of protection against indirect contact by automatic disconnection, conditions for protection by automatic disconnection shall be verified according to 18.2;
- c) insulation resistance test (see 18.3);
- d) voltage test (see 18.4);
- e) protection against residual voltage (see 18.5);
- f) functional tests (see 18.6).

When these tests are performed, it is recommended that they follow the sequence listed above.

When the electrical equipment is modified, the requirements stated in 18.7 shall apply.

The tests shall be carried out by measuring equipment in accordance with relevant IEC standards. For tests in accordance with 18.2 and 18.3, measuring equipment in accordance with the IEC 61557 series is applicable.

The results of the verification shall be documented.

18.2 Verification of conditions for protection by automatic disconnection of supply

18.2.1 General

The conditions for automatic disconnection of supply (see 6.3.3) shall be verified by tests.

For TN-systems, those test methods are described in 18.2.2; their application for different conditions of supply are specified in 18.2.3.

For TT and IT systems, see IEC 60364-6-61.

18.2.2 Test methods in TN-systems

Test 1 verifies the continuity of the protective bonding circuit. Test 2 verifies the conditions for protection by automatic disconnection of the supply.

Test 1 – Verification of the continuity of the protective bonding circuit

The resistance of each protective bonding circuit between the PE terminal (see 5.2 and Figure 2) and relevant points that are part of each protective bonding circuit shall be measured with a current between at least 0,2 A and approximately 10 A derived from an electrically separated supply source (for example SELV, see 413.1 of IEC 60364-4-41) having a maximum no-load voltage of 24 V a.c. or d.c.. It is recommended not to use a PELV supply since such supplies can produce misleading results in this test. The resistance measured shall be in the expected range according to the length, the cross sectional area and the material of the related protective bonding conductor(s).

NOTE 1 Larger currents used for the continuity test increases the accuracy of the test result, especially with low resistance values, i.e. larger cross sectional areas and/or lower conductor length.

Test 2 – Fault loop impedance verification and suitability of the associated overcurrent protective device

The connections of the power supply and of the incoming external protective conductor to the PE terminal of the machine, shall be verified by inspection.

The conditions for the protection by automatic disconnection of supply in accordance with 6.3.3 and Annex A shall be verified by both:

- 1) verification of the fault loop impedance by:
 - calculation, or
 - measurement in accordance with A.4, and

- 2) confirmation that the setting and characteristics of the associated overcurrent protective device are in accordance with the requirements of Annex A.

NOTE 2 A fault loop impedance measurement can be carried out for circuits where the conditions of protection by automatic disconnection requires a current I_a up to about 1 kA (I_a is the current causing the automatic operation of the disconnecting device within the time specified in Annex A).

18.2.3 Application of the test methods for TN-systems

Test 1 of 18.2.2 shall be carried out on each protective bonding circuit of a machine.

When Test 2 of 18.2.2 is carried out by measurement, it shall always be preceded by Test 1.

NOTE A discontinuity of the protective bonding circuit can cause a hazardous situation for the tester or other persons, or damage to the electrical equipment during the loop impedance test.

The tests that are necessary for machines of different status are specified in Table 9. Table 10 can be used to enable determination of the machine status.

Table 9 – Application of the test methods for TN-systems

Procedure	Machine status	Verification on site
A	Electrical equipment of machines, erected and connected on site, where the continuity of the protective bonding circuits has not been confirmed following erection and connection on site.	Test 1 and test 2 (see 18.2.2) Exception: If previous calculations of the fault loop impedance or resistance by the manufacturer are available and where: - the arrangement of the installations permits the verification of the length and cross-sectional area of the conductors used for the calculation, and - it can be confirmed that the supply source impedance on site is less than or equal to that of the supply used for the value assumed for the calculation by the manufacturer. Test 1 (see 18.2.2) of the protective bonding circuits connected on site and verification by inspection of the connections of the power supply and of the incoming external protective conductor to the PE-terminal of the machine is sufficient.
B	Machine supplied with confirmation of the verification (see 18.1) of continuity of the protective bonding circuits by test 1 or test 2 by measurement, having protective bonding circuits exceeding the cable length for which examples are given in Table 10. Case B1) supplied fully assembled and not dismantled for shipment. Case B2) supplied dismantled for shipment, where the continuity of protective conductors is ensured after dismantling, transportation and reassembly (for example by the use of plug/socket connections).	Test 2 (see 18.2.2) Exception: Where it can be confirmed that the supply source impedance on site is less than or equal to that used for the calculation, or that of the test supply during a test 2 by measurement, no test is required on site apart from verification of the connections: - in case B1) of the power supply and of the incoming external protective conductor to the PE-terminal of the machine; - in case B2) of the power supply and of the incoming external protective conductor to the PE-terminal of the machine and of all connections of the protective conductor(s) that were disconnected for shipment.
C	Machine having protective bonding circuits not exceeding the cable length for which examples are given in Table 10, supplied with confirmation of the verification (see 18.1) of continuity of the protective bonding circuits by test 1 or test 2 (see 18.2.2) by measurement. Case C1) supplied fully assembled and not dismantled for shipment. Case C2) supplied dismantled for shipment, where the continuity of protective conductors is ensured after dismantling, transportation and reassembly (for example by the use of plug/socket combination(s)).	No test required on site. For a machine not connected to the power supply by a plug/socket combination, the correct connection of the incoming external protective conductor to the PE-terminal of the machine shall be verified by visual inspection. In case C2), the installation documents (see 17.4) shall require that all connections of the protective conductor(s) that were disconnected for shipment are verified, for example by visual inspection.

Table 10 – Examples of maximum cable length from each protective device to its load

1 Supply source impedance to each protective device	2 Cross-sectional area	3 Nominal rating or setting of the protective device I_N	4 Fuse disconnect time 5 s	5 Fuse disconnect time 0,4 s	6 Miniature circuit- breaker char.B 4 $I_a = 5 \times I_N$ disconnect time 0,1 s	7 Miniature circuit- breaker char.C 5 $I_a = 10 \times I_N$ disconnect time 0,1 s	8 Adjustable circuit-breaker $I_a = 8 \times I_N$ disconnect time 0,1 s
mΩ	mm ²	A	Maximum cable length in m from each protective device to its load				
500	1,5	16	97	53	76	30	28
500	2,5	20	115	57	94	34	36
500	4,0	25	135	66	114	35	38
400	6,0	32	145	59	133	40	42
300	10	50	125	41	132	33	37
200	16	63	175	73	179	55	61
200	25 (line)/16 (PE)	80	133				38
100	35 (line)/16 (PE)	100	136				73
100	50 (line)/25 (PE)	125	141				66
100	70 (line)/35 (PE)	160	138				46
50	95 (line)/50 (PE)	200	152				98
50	120 (line)/70 (PE)	250	157				79

The values of the maximum cable length in Table 10 are based on the following assumptions:

- PVC cable with copper conductors, conductor temperature under short circuit conditions 160 °C (see Table D.5);
- cables with line conductors up to 16 mm² provide a protective conductor of equal cross sectional area to that of the line conductors;
- cables above 16 mm² provide a reduced size protective conductor as shown;
- 3-phase system, nominal voltage of the power supply 400 V;
- maximum supply source impedance to each protective device in accordance with column 1;
- column 3 values are correlated with Table 6 (see 12.4).

A deviation from these assumptions can require a complete calculation or measurement of the fault loop impedance. Further information is available from IEC 60228 and IEC 61200-53.

18.3 Insulation resistance tests

When insulation resistance tests are performed, the insulation resistance measured at 500 V d.c. between the power circuit conductors and the protective bonding circuit shall be not less than 1 MΩ. The test may be made on individual sections of the complete electrical installation.

Exception: for certain parts of electrical equipment, incorporating for example busbars, conductor wire or conductor bar systems or slip-ring assemblies, a lower minimum value is permitted, but that value shall not be less than 50 kΩ.

⁴ In accordance with the IEC 60898 series.

⁵ In accordance with the IEC 60898 series.

If the electrical equipment of the machine contains surge protection devices which are likely to operate during the test, it is permitted to either:

- disconnect these devices, or
- reduce the test voltage to a value lower than the voltage protection level of the surge protection devices, but not lower than the peak value of the upper limit of the supply (phase to neutral) voltage.

18.4 Voltage tests

When voltage tests are performed, test equipment in accordance with IEC 61180-2 should be used.

The test voltage shall be at a nominal frequency of 50 Hz or 60 Hz.

The maximum test voltage shall have a value of twice the rated supply voltage of the equipment or 1 000 V, whichever is the greater. The maximum test voltage shall be applied between the power circuit conductors and the protective bonding circuit for a period of approximately 1 s. The requirements are satisfied if no disruptive discharge occurs.

Components and devices that are not rated to withstand the test voltage shall be disconnected during testing.

Components and devices that have been voltage tested in accordance with their product standards may be disconnected during testing.

18.5 Protection against residual voltages

Where appropriate, tests shall be performed to ensure compliance with 6.2.4.

18.6 Functional tests

The functions of electrical equipment shall be tested.

The function of circuits for electrical safety (for example earth fault detection) shall be tested.

18.7 Retesting

Where a portion of the machine and its associated equipment is changed or modified, that portion shall be reverified and retested, as appropriate (see 18.1).

Particular attention should be given to the possible adverse effects that retesting can have on the equipment (for example overstressing of insulation, disconnection/reconnection of devices).

Annex A (normative)

Protection against indirect contact in TN-systems

(Derived from IEC 60364-4-41:2001, and IEC 60364-6-61:2001)

A.1 General

Protection against indirect contact shall be provided by an overcurrent protective device that automatically disconnects the supply to the circuit or equipment in the event of a fault between a live part and an exposed conductive part or a protective conductor in the circuit or equipment, within a sufficiently short disconnecting time. A disconnecting time not exceeding 5 s is considered sufficiently short for machines.

Exception: Where this disconnecting time cannot be assured, measures shall be implemented (for example supplementary protective bonding) to prevent a prospective touch voltage from exceeding 50 V a.c. or 120 V ripple-free d.c. between simultaneously accessible conductive parts. See A.3.

For circuits which supply, through socket-outlets or directly without socket-outlets, Class I hand-held equipment or portable equipment (for example socket-outlets on a machine for accessory equipment, see 15.1) Table A.1 specifies the maximum disconnecting times that are considered sufficiently short.

Table A.1 – Maximum disconnecting times for TN systems

U_o ^{a)} V	Disconnecting time s
120	0,8
230	0,4
277	0,4
400	0,2
>400	0,1
^{a)} U_o is the nominal a.c. r.m.s. voltage to earth. NOTE 1 For voltages which are within the tolerance band stated in IEC 60038, the disconnecting time appropriate to the nominal voltage applies. NOTE 2 For intermediate values of voltage, the next higher value in the above table is to be used.	

A.2 Conditions for protection by automatic disconnection of the supply by overcurrent protective devices

The characteristics of overcurrent protective devices and the circuit impedances shall be such that, if a fault of negligible impedance occurs anywhere in the electrical equipment between a phase conductor and a protective conductor or exposed conductive part, automatic disconnection of the supply will occur within the specified time (i.e. ≤ 5 s or $\leq$ values in accordance with Table A.1). The following condition fulfils this requirement:

$$Z_s \times I_a \leq U_0$$

where

Z_s is the impedance of the fault loop comprising the source, the live conductor up to the point of the fault and the protective conductor between the point of the fault and the source;

I_a is the current causing the automatic operation of the disconnecting protective device within the specified time;

U_0 is the nominal a.c. voltage to earth.

The increase of the resistance of the conductors with the increase of temperature due to the fault current shall be taken into account (see A.4.3).

NOTE Information for calculating short circuit currents can be found in, for example, the IEC 60909 series or from suppliers of short-circuit protective devices.

A.3 Condition for protection by reducing the touch voltage below 50 V

Where the requirements of Clause A.2 cannot be assured and supplementary bonding is selected as the means of ensuring protection against hazardous touch voltages, the condition for this protection is that the touch voltage has been reduced to below 50 V and it is achieved when the impedance of the protective circuit (Z_{PE}) does not exceed:

$$Z_{PE} \leq \frac{50}{U_0} \times Z_s$$

where Z_{PE} is the impedance of the protective bonding circuit between the equipment anywhere in the installation and the PE terminal of the machine (see 5.2 and Figure 2) or between simultaneously accessible exposed conductive parts and/or extraneous conductive parts.

Confirmation of this condition can be achieved by using the method of Test 1 of 18.2.2 to measure the resistance R_{PE} . The condition for protection is achieved when the measured value of R_{PE} does not exceed:

$$R_{PE} \leq \frac{50}{I_{a(5s)}}$$

where

$I_{a(5s)}$ is the 5 s operating current of the protective device;

R_{PE} is the resistance of the protective bonding circuit between the PE terminal (see 5.2 and Figure 2) and the equipment anywhere on the machine, or between simultaneously accessible exposed conductive parts and/or extraneous conductive parts.

NOTE 1 Supplementary protective bonding is considered as an addition to protection against indirect contact.

NOTE 2 Supplementary protective bonding may involve the entire installation, a part of the installation, an item of apparatus, or a location.

A.4 Verification of conditions for protection by automatic disconnection of the supply

A.4.1 General

The effectiveness of the measures for protection against indirect contact by automatic disconnection of supply in accordance with Clause A.2 is verified as follows:

- verification of the characteristics of the associated protective device by visual inspection of the nominal current setting for circuit-breakers and the current rating for fuses, and;
- measurement of the fault loop impedance (Z_s).

Exception: Where the calculations of the fault loop impedance or of the resistance of the protective conductors are available and when the arrangement of the installations permits the verification of the length and cross-sectional area of the conductors, verification of the continuity of the protective conductors may replace the measurement.

A.4.2 Measurement of the fault loop impedance

Measurement of the fault loop impedance shall be performed using measuring equipment that complies with IEC 61557-3. The information about the accuracy of the measuring results, and the procedures to be followed given in the documentation of the measuring equipment shall be considered.

Measurement shall be performed when the machine is connected to a supply having the same frequency as the nominal frequency of the supply at the intended installation.

NOTE Figure A.1 illustrates a typical arrangement for measuring the fault loop impedance on a machine. If it is not practicable for the motor to be connected during the test, the two phase conductors not used in the test can be opened, for example, by removing fuses.

The measured value of the fault loop impedance shall comply with A.2.

A.4.3 Consideration of the difference between the measured value of resistance of the conductors and the actual value under fault conditions

NOTE As the measurements are made at ambient temperature, with low currents, it is necessary to take into account the increase of resistance of the conductors with the increase of temperature under fault conditions, to verify the compliance of the measured value of the fault loop impedance with the requirements of Clause A.2.

The increase of resistance of the conductors with the increase of temperature due to the fault current is taken into account in the following equation:

$$Z_{s(m)} \leq \frac{2}{3} \times \frac{U_0}{I_a}$$

where $Z_{s(m)}$ is the measured value of Z_s .

Where the measured value of the fault loop impedance exceeds $2U_0/3I_a$, a more precise assessment can be made in accordance with the procedure described in C.61.3.6.2 of IEC 60364-6:2006.

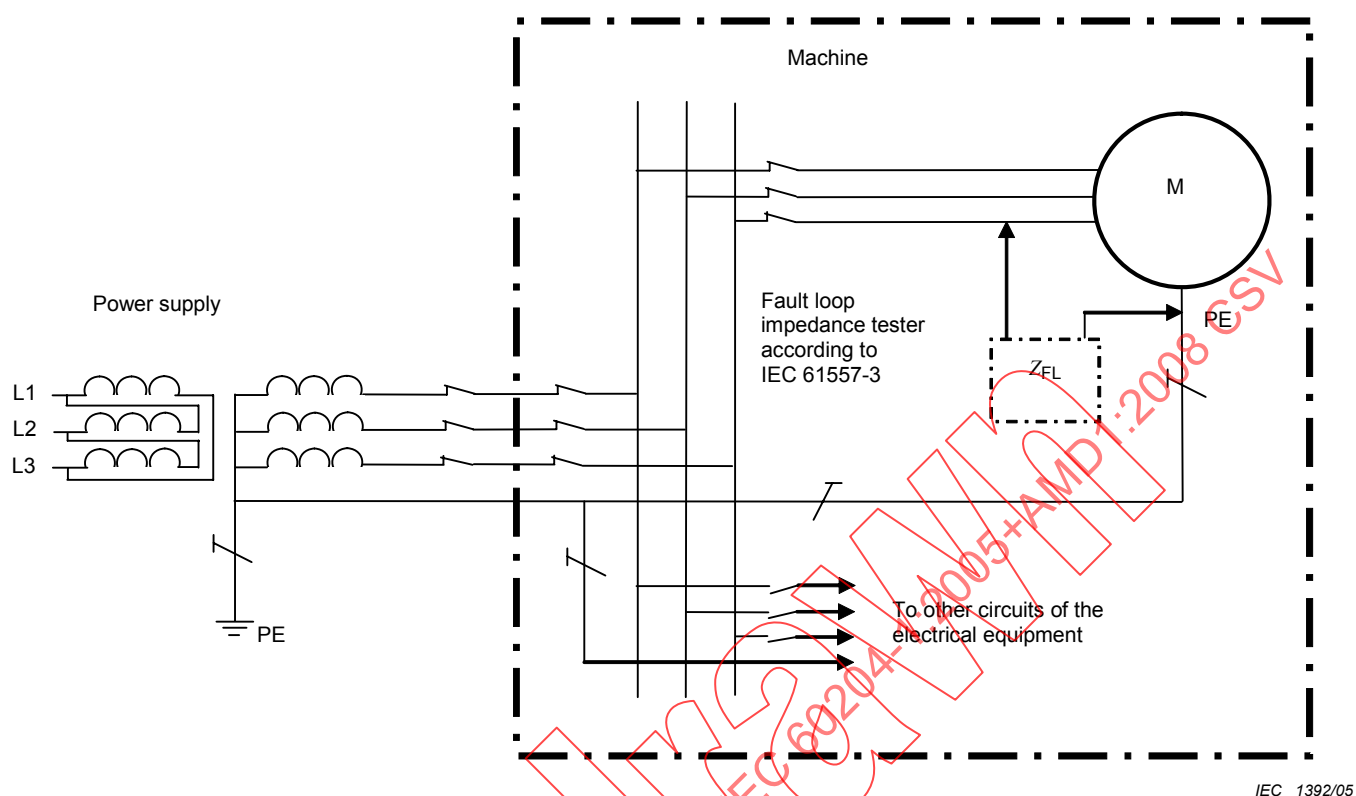


Figure A.1 – Typical arrangement for fault loop impedance measurement

Annex B (informative)

Enquiry form for the electrical equipment of machines

It is recommended that the following information be provided by the intended user of the equipment. It can facilitate an agreement between the user and supplier on basic conditions and additional user requirements to enable proper design, application and utilization of the electrical equipment of the machine (see 4.1).

Name of manufacturer/supplier			
Name of end user			
Tender/order number		Date	
Type of machine		Serial number	
1. Special conditions (see Clause 1)			
a) Is the machine to be used in the open air?	Yes	No	
b) Will the machine use, process or produce explosive or flammable material?	Yes/No	If yes, specification	
c) Is the machine for use in potentially explosive or flammable atmospheres?	Yes/No	If yes, specification	
d) Can the machine present special hazards when producing or consuming certain materials?	Yes/No	If yes, specification	
e) Is the machine for use in mines?	Yes	No	
2. Electrical supplies and related conditions (see 4.3)			
a) Anticipated voltage fluctuations (if more than $\pm 10\%$)			
b) Anticipated frequency fluctuations (if more than $\pm 2\%$)	Continuous	Short time	
c) Indicate possible future changes in electrical equipment that will require an increase in the electrical supply requirements			
d) Specify voltage interruptions in supply if longer than specified in Clause 4 where electrical equipment has to maintain operation under such conditions			
3. Physical environment and operating conditions (see 4.4)			
a) Electromagnetic environment (see 4.4.2)	Residential, commercial or light industrial environment	Industrial environment	
Special conditions or requirements			
b) Ambient temperature range			
c) Humidity range			
d) Altitude			
e) Special environmental conditions (for example corrosive atmospheres, dust, wet environments)			

f) Radiation			
g) Vibration, shock			
h) Special installation and operation requirements (for example flame-retardant cables and conductors)			
i) Transportation and storage (for example, temperatures outside the range specified in Subclause 4.5)			
4. Incoming electrical supplies			
Specify for each source of supply:			
a) Nominal voltage (V)	a.c.		d.c.
	If a.c., number of phases		Frequency
Prospective short-circuit current at the point of supply to the machine (kA r.m.s.) (see also item 2)			
b) Type of power supply earthing (see IEC 60364-1)	TN (system with one point directly earthed, with a protective conductor (PE) directly connected to that point); specify if the earthed point is the neutral point (centre of the star) or another point)		TT (system with one point directly earthed but the protective conductor (PE) of the machine not connected to that earth point of the system)
	IT (system that is not directly earthed)		
c) Is the electrical equipment to be connected to a neutral (N) supply conductor? (See 5.1)	Yes		No
d) Supply disconnecting device			
Is disconnection of the neutral (N) conductor required?	Yes		No
Is a removable link for disconnecting the neutral (N) required?	Yes		No
Type of supply disconnecting device to be provided			
5. Protection against electric shock (see Clause 6)			
a) For which of the following classes of persons is access to the interior of enclosures required during normal operation of the equipment?	Electrically skilled persons		Electrically instructed persons
b) Are locks with removable keys to be provided for securing the doors or covers? (see 6.2.2)	Yes		No

6. Protection of equipment (see Clause 7)				
a) Will the user or the supplier provide the overcurrent protection of the supply conductors? (see 7.2.2)				
Type and rating of overcurrent protective devices				
b) Largest (kW) three-phase a.c. motor that may be started direct-on-line				
c) May the number of motor overload detection devices be reduced? (see 7.3)		Yes	No	
7. Operation				
For cableless control systems, specify the time delay before automatic machine shutdown is initiated in the absence of a valid signal.				
8. Operator interface and machine-mounted control devices (see Clause 10)				
Special colour preferences (for example to align with existing machinery):		Start	Stop	
		Other		
9. Controlgear				
Degree of protection of enclosures (see Subclause 11.3) or special conditions:				
10. Wiring practices (see Clause 13)				
Is there a specific method of identification to be used for the conductors? (see 13.2.1)		Yes	No	
Type				
11. Accessories and lighting (see Clause 15)				
a) Is a particular type of socket-outlet required?		Yes	No	
If yes, which type?				
b) Are the socket-outlets for maintenance to be provided with additional protection by the use of Residual Current protective Devices (RCD)?		Yes	No	
c) Where the machine is equipped with local lighting:		Highest permissible voltage (V)	If lighting circuit voltage is not obtained directly from the power supply, state preferred voltage	
12. Marking, warnings and reference designations (see Clause 16)				
a) Functional identification (see 16.3)				
Specifications:				
b) Inscriptions/special markings		On electrical equipment?	In which language?	
c) Mark of certification		Yes	No	
If yes, which one?				

13. Technical documentation (see Clause17)				
a) Technical documentation (see 17.1)	On what media?		In which language?	
b) Size, location and purpose of ducts, open cable trays or cable supports to be provided by the user (see 17.5)				
c) Indicate if special limitations on the size or weight affect the transport of a particular machine or controlgear assemblies to the installation site:	Maximum dimensions		Maximum weight	
d) In the case of specially built machines, is a certificate of operating tests with the loaded machine to be supplied?	Yes		No	
e) In the case of other machines, is a certificate of operating type tests on a loaded prototype machine to be supplied?	Yes		No	

IECNORM.COM

Click to view the full PDF of IEC 60204-1:2005+AMD1:2008 CSV

Annex C (informative)

Examples of machines covered by this part of IEC 60204

The following list shows examples of machines whose electrical equipment should conform to this part of IEC 60204. The list is not intended to be exhaustive but is consistent with the definition of machinery (3.35). This part of IEC 60204 need not be applied to machines that are household and similar domestic appliances within the scope of the IEC 60335 series of standards.

Metalworking machinery

- metal cutting machines
- metal forming machines

Plastics and rubber machinery

- injection moulding machines
- extrusion machines
- blow moulding machines
- thermoset moulding machines
- size reduction machines

Wood machinery

- woodworking machines
- laminating machines
- sawmill machines

Assembly machines

Material handling machines

- robots
- conveyors
- transfer machines
- storage and retrieval machines

Textile machines

Refrigeration and air-conditioning machines

Food machinery

- dough breaks
- mixing machines
- pie and tart machines
- meat processing machines

Printing, paper and board machinery

- printing machines
- finishing machines, guillotines, folders
- reeling and slitting machines
- folder box gluing machines
- paper and board making machines

Inspecting/testing machinery

- co-ordinate measuring machines
- in-process gauging machines

Compressors

Packaging machinery

- palletizers/depalletizers
- wrapping and shrink-wrapping machines

Laundry machines

Heating and ventilating machines

Leather/imitation leather goods and footwear machinery

- cutting and punching machines
- roughing, scouring, buffing, trimming and brushing machines
- footwear moulding machines
- lasting machines

Hoisting machinery (see IEC 60204-32)

- cranes
- hoists

Machinery for transportation of persons

- escalators
- ropeways for transportation of persons, for example chairlifts, ski lifts
- passenger lifts

Power-operated doors

Leisure machinery

- fairground rides

Pumps

Agriculture and forestry machines

Construction and building materials machinery

- tunnelling machines
- concrete batching machines
- brick-making machines
- stone, ceramic and glass-making machines

Transportable machinery

- wood working machines
- metal working machines

Mobile machinery

- lifting platforms
- fork lift trucks
- construction machines

Machines for hot metal processing

Tanning machinery

- multi-roller machines
- bandknife machines
- hydraulic tanning machines

Mining and quarrying machines

Annex D (informative)

Current-carrying capacity and overcurrent protection of conductors and cables in the electrical equipment of machines

The purpose of this Annex is to provide additional information on the selection of conductor sizes where the conditions given for Table 6 (see Clause 12) have to be modified (see notes to Table 6).

D.1 General operating conditions

D.1.1 Ambient air temperature

The current carrying capacity for PVC insulated conductors given in Table 6 is related to an ambient air temperature of +40 °C. For other ambient air temperatures, the correction factors are given in Table D.1.

The correction factors for rubber insulated cables are given by the manufacturer.

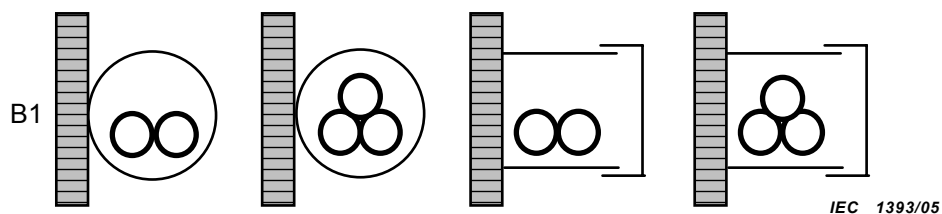
Table D.1 – Correction factors

Ambient air temperature °C	Correction factor
30	1,15
35	1,08
40	1,00
45	0,91
50	0,82
55	0,71
60	0,58
NOTE: The correction factors are derived from IEC 60364-5-52. The maximum temperature under normal conditions for PVC 70 °C.	

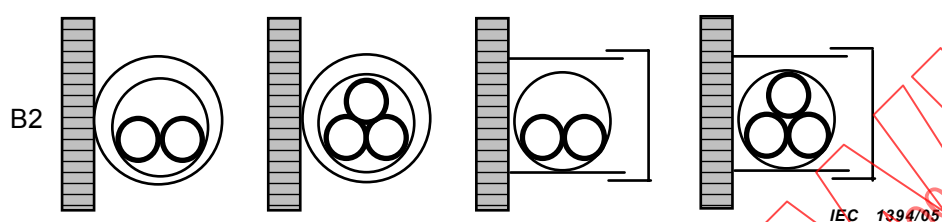
D.1.2 Methods of installation

In machines, the methods of conductor and cable installation between enclosures and individual items of the equipment shown in Figure D.1 are assumed to be typical (the letters used are in accordance with IEC 60364-5-52: 2001):

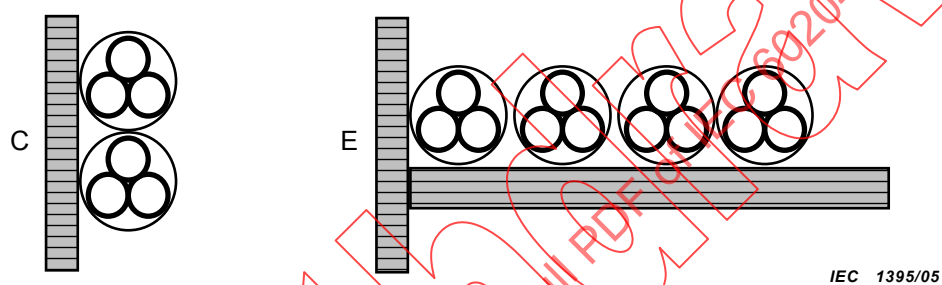
- Method B1: using conduits (3.7) and cable trunking systems (3.5) for holding and protecting conductors or single core cables;
- Method B2: same as B1 but used for multicore cables;
- Method C: multicore cables installed in free air, horizontal or vertical without gap between cables on walls;
- Method E: multicore cables in free air, horizontal or vertical laid on open cable trays (3.4).



Conductors/single core cables in conduit and cable trunking systems



Cables in conduit and cable trunking systems



Cables on walls

Cables on open cable trays

Figure D.1 – Methods of conductor and cable installation independent of number of conductors/cables

D.1.3 Grouping

Where more loaded conductors in cables or conductor pairs are installed, derate the values of I_z , given in Table 6 or by the manufacturer in accordance with Tables D.2 or D.3.

NOTE Circuits with $I_b < 30\%$ of I_z need not be derated.

Table D.2 – Derating factors from I_z for grouping

Methods of installation (see Figure D.1) (see Note 3)	Number of loaded circuits/cables			
	2	4	6	9
B1 (circuits) and B2 (cables)	0,80	0,65	0,57	0,50
C single layer with no gap between cables	0,85	0,75	0,72	0,70
E single layer on one perforated tray without gap between cables	0,88	0,77	0,73	0,72
E as before but with 2 to 3 trays, with a vertical spacing between each tray of 300 mm (see Note 4)	0,86	0,76	0,71	0,66
Control circuit pairs $\leq 0,5\text{mm}^2$ independent of methods of installation	0,76	0,57	0,48	0,40
NOTE 1 These factors are applicable to – cables, all equally loaded, the circuit itself symmetrically loaded; – groups of circuits of insulated conductors or cables having the same allowable maximum operating temperature. NOTE 2 The same factors are applied to – groups of two or three single-core cables; – multicore cables. NOTE 3 Factors derived from IEC 60364-5-52:2001. NOTE 4 A perforated cable tray is a tray where the holes occupy more than 30 % of the area of the base. (Derived from IEC 60364-5-52:2001).				

Table D.3 – Derating factors from I_z for multicore cables up to 10 mm^2

Number of loaded conductors or pairs	Conductors ($> 1\text{ mm}^2$) (see Note 3)	Pairs ($0,25\text{ mm}^2$ to $0,75\text{ mm}^2$)
1	-	1,0
3	1,0	-
5	0,75	0,39
7	0,65	0,34
10	0,55	0,29
24	0,40	0,21
NOTE 1 Applicable to multicore cables with equally loaded conductors/pairs. NOTE 2 For grouping of multicore cables, see derating factors of Table D.2. NOTE 3 Factors derived from IEC 60364-5-52:2001.		

D.1.4 Classification of conductors

Table D.4 – Classification of conductors

Class	Description	Use/application
1	Solid copper or aluminium conductors	Fixed installations
2	Stranded copper or aluminium conductors	
5	Flexible stranded copper conductors	Machine installations with presence of vibration; connection to moving parts
6	Flexible stranded copper conductors conductors that are more flexible than class 5	For frequent movements

NOTE Derived from IEC 60228.

D.2 Co-ordination between conductors and protective devices providing overload protection

Figure D.2 illustrates the relationship between the parameters of conductors and the parameters of protective devices providing overload protection.

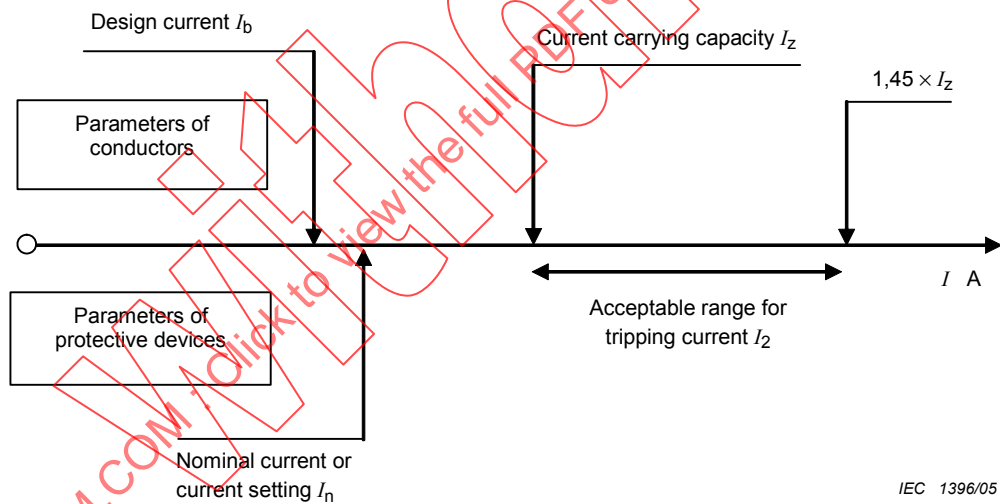


Figure D.2 – Parameters of conductors and protective devices

Correct protection of a cable requires that the operating characteristics of a protective device (for example overcurrent protective device, motor overload protective device) protecting the cable against overload satisfy the two following conditions:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \tag{1}$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_z \tag{2}$$

where

I_b is the current for which the circuit is designed;

I_Z is the effective current-carrying capacity, in amperes, of the cable for continuous service according to Table 6 for the particular installation conditions:

- temperature, derating of I_Z see Table D.1;
- grouping, derating of I_Z see Table D.2;
- multicore cables, derating of I_Z see Table D.3.

I_n is the nominal current of the protective device;

NOTE 1 For adjustable protective devices, the nominal current I_n is the current setting selected.

I_2 is the minimum current ensuring effective operation of the protective device within a specified time (for example 1 h for protective devices up to 63 A).

The current I_2 ensuring effective operation of the protective device is given in the product standard or may be provided by the manufacturer.

NOTE 2 For motor circuit conductors, overload protection for conductor(s) can be provided by the overload protection for the motor(s) whereas the short-circuit protection is provided by short-circuit protective devices.

Where a device that provides both overload and short-circuit protection is used in accordance with this Clause for conductor overload protection, it does not ensure complete protection in all cases (for example overload with currents less than I_2), nor will it necessarily result in an economical solution. Therefore, such a device can be unsuitable where overloads with currents less than I_2 are likely to occur.

D.3 Overcurrent protection of conductors

All conductors are required to be protected against overcurrent (see 7.2) by protective devices inserted in all live conductors so that any short circuit current flowing in the cable is interrupted before the conductor has reached the maximum allowable temperature.

NOTE For neutral conductors, see 7.2.3, second paragraph.

Table D.5 – Maximum allowable conductor temperatures under normal and short-circuit conditions

Type of insulation	Maximum temperature under normal conditions °C	Ultimate short-time conductor temperature under short circuit conditions ^{a)} °C
Polyvinyl chloride (PVC)	70	160
Rubber	60	200
Cross-linked polyethylene (XLPE)	90	250
Ethylene propylene compound (EPR)	90	250
Silicone rubber (SiR)	180	350
NOTE For ultimate short-time conductor temperatures greater than 200 °C, neither tinned nor bare copper conductors are suitable. Silver-plated or nickel-plated copper conductors are suitable for use above 200 °C.		
^{a)} These values are based on the assumption of adiabatic behaviour for a period of not more than 5 s.		

In practice, the requirements of 7.2 are fulfilled when the protective device at a current I causes the interruption of the circuit within a time that in no case exceeds the time t where $t < 5$ sec.

The value of the time t in seconds shall be calculated using the following formula:

$$t = (k \times S/I)^2$$

where:

S is the cross-sectional area in square millimetres;

I is the effective short-circuit current in amperes expressed for a.c. as the r.m.s. value;

k is the factor shown for copper conductors when insulated with the following material:

PVC 115

Rubber 141

SiR 132

XLPE 143

EPR 143

The use of fuses with characteristics gG or gM (see IEC 60269-1) and circuit-breakers with characteristics B and C in accordance with the IEC 60898 series, ensures that the temperature limits in Table D.5 will not be exceeded, provided that the nominal current I_n is chosen in accordance with Table 6 where $I_n \leq I_z$.

Annex E (informative)

Explanation of emergency operation functions

NOTE These concepts are included here to give the reader an understanding of these terms even though in this part of IEC 60204 only two of them are used.

Emergency operation

Emergency operation includes separately or in combination:

- emergency stop;
- emergency start;
- emergency switching off;
- emergency switching on.

Emergency stop

An emergency operation intended to stop a process or a movement that has become hazardous.

Emergency start

An emergency operation intended to start a process or a movement to remove or to avoid a hazardous situation.

Emergency switching off

An emergency operation intended to switch off the supply of electrical energy to all or a part of an installation where a risk of electric shock or another risk of electrical origin is involved.

Emergency switching on

An emergency operation intended to switch on the supply of electrical energy to a part of an installation that is intended to be used for emergency situations.

Annex F (informative)

Guide for the use of this part of IEC 60204

F.1 General

This part of IEC 60204 gives a large number of general requirements that may or may not be applicable to the electrical equipment of a particular machine. A simple reference without any qualification to the complete standard IEC 60204-1 is therefore not sufficient. Choices need to be made to cover all requirements of this part of IEC 60204. A technical committee preparing a product family or a dedicated product standard (type C in CEN), and the supplier of a machine for which no product family or dedicated product standard exists, should use this part of IEC 60204:

- a) by reference; and
- b) by selection of the most appropriate option(s) from the requirements given in the relevant Clauses; and
- c) by modification of certain Clauses, as necessary, where the particular requirements for the equipment of the machine are adequately covered by other relevant standards,

providing the options selected and the modifications made do not adversely affect the level of protection required for that machine according to the risk assessment.

When applying the three principles a), b) and c) listed above, it is recommended that:

- reference be made to the relevant Clauses and Subclauses of this standard:
 - 1) that are complied with, indicating where relevant the applicable option;
 - 2) that have been modified or extended for the specific machine or equipment requirements; and
- reference be made directly to the relevant standard, for those requirements for the electrical equipment that are adequately covered by that standard.

In all cases, expertise is essential to be able to:

- perform the necessary risk assessment of the machine;
- read and understand all of the requirements of this part of IEC 60204;
- choose the applicable requirements from this part of IEC 60204 where alternatives are given;
- identify alternative or additional particular requirements that differ from or are not included in the requirements of this part of IEC 60204, and that are determined by the machine and its use; and
- specify precisely those particular requirements.

Figure 1 of this part of IEC 60204 is a block diagram of a typical machine and can be used as the starting point of this task. It indicates the Clauses and Subclauses dealing with particular requirements/equipment. However, this part of IEC 60204 is a complex document and Table F.1 can help identify the application options for a particular machine and gives reference to other relevant standards.

Table F.1 – Application options

Subject	Clause or Subclause	i)	ii)	iii)	iv)
Scope	1		X		
General requirements	4	X	X	X	ISO 12100 (all parts) ISO 14121
Selection of equipment	4.2.2		X	X	IEC 60439 series
Supply disconnecting (isolating) device	5.3	X			
Excepted circuits	5.3.5	X		X	ISO 12100 (all parts)
Prevention of unexpected start-up, isolation	5.4, 5.5 and 5.6	X	X	X	ISO 14118
Protection against electric shock	6	X			IEC 60364-4-41
Emergency operations	9.2.5.4	X		X	ISO 13850
Two-hand control	9.2.6.2	X	X		ISO 13851
Cableless control	9.2.7	X	X	X	
Control functions in the event of failure	9.4	X	X	X	ISO 14121 ISO 13849 (all parts) IEC 62061
Position sensors	10.1.4	X	X	X	ISO 14119
Colours and markings of operator interface devices	10.2, 10.3 and 10.4	X	X		IEC 60073 IEC 61310 (all parts)
Emergency stop devices	10.7	X	X		ISO 13850
Emergency switching off devices	10.8	X			
Controlgear – protection against ingress of contaminants, etc.	10.1.3 and 11.3	X	X	X	IEC 60529
Identification of conductors	13.2	X	X		
Verification	18	X	X	X	
Additional user requirements	Annex B		X	X	
Clauses and Subclauses of this part of IEC 60204 where action should be considered (shown by X) with respect to: i) selection from the measures given; ii) additional requirements; iii) different requirements; iv) other standards that can be relevant.					

Annex G (informative)

Comparison of typical conductor cross-sectional areas

Table G.1 provides a comparison of the conductor cross-sectional areas of the American Wire Gauge (AWG) with square millimetres, square inches, and circular mils.

Table G.1 – Comparison of conductor sizes

Wire size	Gauge No	Cross-sectional area		d.c. resistance of copper at 20°C	Circular mils
mm ²	(AWG)	mm ²	inches ²	Ohms per km	
0,2		0,196	0,000 304	91,62	387
	24	0,205	0,000 317	87,60	404
0,3		0,283	0,000 438	63,46	558
	22	0,324	0,000 504	55,44	640
0,5		0,500	0,000 775	36,70	987
	20	0,519	0,000 802	34,45	1 020
0,75		0,750	0,001 162	24,80	1 480
	18	0,823	0,001 272	20,95	1 620
1,0		1,000	0,001 550	18,20	1 973
	16	1,31	0,002 026	13,19	2 580
1,5		1,500	0,002 325	12,20	2 960
	14	2,08	0,003 228	8,442	4 110
2,5		2,500	0,003 875	7,56	4 934
	12	3,31	0,005 129	5,315	6 530
4		4,000	0,006 200	4,700	7 894
	10	5,26	0,008 152	3,335	10 380
6		6,000	0,009 300	3,110	11 841
	8	8,37	0,012 967	2,093	16 510
10		10,000	0,015 500	1,840	19 735
	6	13,3	0,020 610	1,320	26 240
16		16,000	0,024 800	1,160	31 576
	4	21,1	0,032 780	0,829 5	41 740
25		25,000	0,038 800	0,734 0	49 338
	2	33,6	0,052 100	0,521 1	66 360
35		35,000	0,054 200	0,529 0	69 073
	1	42,4	0,065 700	0,413 9	83 690
50		47,000	0,072 800	0,391 0	92 756

The resistance for temperatures other than 20°C can be found using the formula:

$$R = R_I [1 + 0,003\,93 (t - 20)]$$

Where:

R_I is the resistance at 20°C;

R is the resistance at a temperature t °C.

IECNORM.COM · Click to view the full PDF of IEC 60204-1:2005+AMD1:2008 CSV

Bibliography

IEC 60038:2002, *IEC standard voltages*

IEC 60204-11:2000, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 11: Requirements for HV equipment for voltages above 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c. and not exceeding 36 kV*

IEC 60204-31:2001, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 31: Particular safety and EMC requirements for sewing machines, units, and systems*

IEC 60204-32:1998, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 32: Requirements for hoisting machines*

IEC 60228:2004, *Conductors of insulated cables*

IEC 60269-1:1998, *Low-voltage fuses – Part 1: General requirements*

IEC 60287 (all parts), *Electric cables – Calculation of the current rating*

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

IEC 60335 (all parts): *Household and similar electrical appliances – Safety*

IEC 60364 (all parts): *Electrical installations of buildings*

IEC 60757:1983, *Code for designation of colours*

IEC 60947-5-2:1997, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 5-2: Control circuit devices and switching elements – Proximity switches*
Amendment 1 (1999)
Amendment 2 (2003)

IEC 61000-5-2:1997, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 2: Earthing and cabling*

IEC 61000-6-1:1997, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6: Generic standards – Section 1: Immunity for residential, commercial and light-industrial environments*

IEC 61000-6-2:2005, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity for industrial environments*

IEC 61000-6-4:1997, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6: Generic standards – Section 4: Emission standard for industrial environments*

IEC 61084-1:1991, *Cable trunking and ducting systems for electrical installations – Part 1: General requirements*

IEC 61180-2:1994, *High-voltage test techniques for low-voltage equipment – Part 2: Test equipment*

IEC 61200-53:1994, *Electrical installation guide – Part 53: Selection and erection of electrical equipment – Switchgear and controlgear*

IEC 61496-1:2004, *Safety of machinery – Electro-sensitive protective equipment – Part 1: General requirements and tests*

IEC 61557 (all parts), *Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures –*

IEC 61558-2-17:1997, *Safety of power transformers, power supply units and similar – Part 2: Particular requirements for transformers for switch mode power supplies*

IEC 61800-3:2004, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 3: EMC requirements and standard including specific test methods*

IEC 61800-5-1:2003, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 5-1: Safety requirements – Electrical, thermal and energy*

CISPR 61000-6-3:1996, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6: Generic standards – Section 3: Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments*

IEC Guide 106:1996, *Guide for specifying environmental conditions for equipment performance rating*

ISO 3864-1:2002, *Graphical symbols – Safety colours and safety signs – Part 1: Design principles for safety signs in workplaces and public areas*

ISO 13849-2:2003, *Safety of machinery – Safety-related parts of control systems – Part 2: Validation*

ISO 13851:2002, *Safety of machinery – Two-hand control devices – Functional aspects and design principles*

ISO 14118:2000, *Safety of machinery – Prevention of unexpected start-up*

ISO 14122-1:2001, *Safety of machinery – Permanent means of access to machinery – Part 1: Choice of fixed means of access between two levels*

ISO 14122-2:2001, *Safety of machinery – Permanent means of access to machinery – Part 2: Working platforms and walkways*

ISO 14122-3:2001, *Safety of machinery – Permanent means of access to machinery – Part 3: Stairs, stepladders and guard-rails*

CENELEC HD 516 S2, *Guide to use of low-voltage harmonized cables*

Index

This index lists, in alphabetical order, the terms defined in Clause 3 and indicates the subclauses where they are used in the text of this part of IEC 60204. The number of each definition is given in bold text.

actuator	3.1 , 3.13, 9.2.5.4.1, 10.1.2, 10.2.1, 10.2.2, 10.4, 10.6, 10.7.3, 10.8.2, 10.8.3, 10.9
ambient temperature	3.2 , 12.1, 12.4, A.4.3, Annex B
barrier	3.3 , 3.15, 3.20, 3.21, 3.29, 6.2.1, 6.2.2, 6.2.5, 11.2.1, 11.2.2, 12.7.1, 13.1.3, 13.4.3
cable tray	3.4 , 13.4.2, 13.5.1, 17.4, Annex B
cable trunking system	3.5 , 3.14, 13.1.3, 13.4.2, 13.5.1, 13.5.6
concurrent	3.6 , 9.2.5.2, 9.2.6.2
conduit	3.7 , 3.14, 13.1.1, 13.1.3, 13.4.2, 13.4.3, 13.5.1, 13.5.3, 13.5.4, 13.5.5, 14.4, D.1.2
control circuit	3.8 , 3.9, 3.42, 4.1, 5.3.5, 5.4, 7.2.4, 9.1.1, 9.1.2, 9.1.3, 9.3.5, 9.4.2.1, 9.4.2.2, 9.4.2.3, 9.4.3.1, 9.4.3.3, 11.2.2, 12.2, 12.4, 12.7.8, 13.2.4, 13.4.5, D.1.3
control device	3.9 , 3.17, 3.18, 9.1.1, 9.2.4, 9.2.5.2, 9.2.6.1, 9.2.6.2, 9.2.6.3, 9.3.4, 9.4.2.1, 10.1.2, 10.1.3, 10.1.5, 10.5, 11.2.1, 11.2.2, 13.3, 16.3, 16.5, 17.6, Annex B
controlgear	3.10 , 4.2.2, 6.3.2.2, 9.2.5.4.3, 11.1, 11.2.1, 11.2.2, 11.3, 11.5, 16.4, Annex B
controlled stop	3.11 , 9.2.2
direct contact	3.12 , 3.20, 3.38, 6.1, 6.2.1, 6.2.2, 6.2.4, 9.2.5.4, 10.1.3, 12.7.1
direct opening action	3.13 , 9.4.2.1, 10.1.4, 10.8.2
duct	3.14 , 7.2.8, 8.2.3, 12.3, 12.7.8, 13.1.3, 13.3, 13.4.1, 13.4.2, 13.5.1, 13.5.2, 17.4
electrical operating area	3.15 , 5.5, 9.2.5.4.3, 11.3, 11.5
electronic equipment	3.16 , 4.3.3, 4.4.2, 5.1, 9.4.2.3
emergency stop device	3.17 , 9.2.4, 9.2.7.2, 10.7, 10.8.1
emergency switching off device	3.18 , 9.2.5.4.1, 9.2.5.4.3, 10.2.1, 10.8, 12.7.1

enclosed electrical operating area	3.19 , 5.4, 5.6, 6.2.2, 8.2.4
enclosure	3.20 , 3.10, 4.4.2, 5.3.3, 6.2.2, 6.2.4, 7.2.8, 8.2.3, 8.2.5, 9.4.3.1, 10.8.1, 10.8.2, 11.2.1, 11.2.2, 11.3, 11.4, 11.5, 12.7.1, 12.7.6, 12.7.8, 13.3, 13.5.6, 14.2, 15.2.1, 15.2.2, 16.2.1, 16.4, 16.5, Annex B
equipment	3.21 , 1., 3.2, 3.5, 3.8, 3.10, 3.15, 3.16, 3.19, 3.20, 3.21, 3.23, 3.27, 3.42, 3.47, 3.51, 3.54, 3.57, 4.1, 4.2, 4.3.1, 4.3.4, 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3, 4.4.4, 4.4.5, 4.4.6, 4.4.7, 4.4.8, 4.5, 4.6, 4.7, 5.1, 5.2, 5.3.1, 5.3.5, 5.4, 5.5, 6.1, 6.2.1, 6.2.2, 6.2.4, 6.3.1, 6.3.2.1, 6.3.2.2, 6.4.1, 7.1, 7.2.2, 7.2.5, 7.7, 7.9, 8.1, 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.2.7, 8.2.8, 8.4, 9.2.5.4.1, 9.4.1, 10.3.2, 11.1, 11.2.1, 11.2.2, 11.3, 11.4, 11.5, 12.2, 12.3, 12.4, 13.3, 13.4.2, 13.4.5, 13.5.3, 14.1, 14.5, 15.2, 16.1, 16.2.1, 16.2.2, 16.3, 16.4, 17.1, 17.2, 17.3, 17.4, 17.6, 17.7, 17.9, 18.1, 18.2.2, 18.2.3, 18.3, 18.4, 18.6, 18.7, A.1, A.2, A.3, Annex B, D.1.2,
equipotential bonding	3.22 , 3.27, 3.43, 8.1
exposed conductive part	3.23 , 3.30, 3.45, 6.3.1, 6.3.3, 7.2.3, 8.2.1, 8.2.3, 8.2.5, 8.4, A.1, A.2, A.3, A.4.2
extraneous conductive part	3.24 , 3.45, 8.2.1, A.3
failure	3.25 , 3.26, 3.44, 4.1, 6.3.2.2, 8.1, 8.2.5, 8.3, 9.3.4, 9.4.1, 9.4.2, 9.4.2.1, 9.4.2.2, 9.4.2.3, 9.4.3.1, 9.4.3.2
fault	3.26 , 3.23, 3.25, 3.29, 3.40, 3.52, 4.1, 6.3.2.2, 6.3.2.3, 6.3.3, 6.4.2, 7.1, 7.2.9, 7.7, 8.1, 8.2.1, 8.2.8, 9.2.5.1, 9.2.7.3, 9.4.2.3, 9.4.3.1, 17.6, 18.2.2, 18.2.3, 18.6, A.1, A.2, A.4.1, A.4.2, A.4.3
functional bonding	3.27 , 4.4.2, 8.1, 8.3
hazard, hazardous	3.28 , 1, 3.20, 3.30, 3.49, 3.50, 3.53, 4.1, 5.4, 6.2.2, 6.2.4, 6.3.1, 6.3.2, 6.3.3, 7.3.1, 7.4, 7.5, 7.6, 7.8, 8.2.5, 9.2.3, 9.2.5.1, 9.2.5.3, 9.2.5.4.1, 9.2.5.4.2, 9.2.5.4.3, 9.2.5.5, 9.2.6.1, 9.2.6.4, 9.2.7.3, 9.2.7.5, 9.3.1, 9.3.2, 9.3.3, 9.3.4, 9.3.5, 9.4.1, 9.4.2.2, 9.4.2.3, 9.4.3.1, 9.4.3.2, 9.4.3.3, 10.1.1, 10.1.2, 10.1.4, 10.2.1, 10.3.2, 12.1, 12.3, 13.1, 13.4.5, 16.2.1, 16.2.2, 17.2, 18.2.3, Annex B, Annex E
indirect contact	3.29 , 6.1, 6.3, 6.4, 8.1, 18.1, Annex A
inductive power supply system	3.30 , 5.3.1, 5.5, 13.1.4
(electrically) instructed person	3.31 , 3.15, 3.19, 5.5, 6.2.2, Annex B
interlock	3.32 , 1, 6.2.2, 9.1.1, 9.2.5.3, 9.2.6.3, 9.3, 9.4.2.3, 11.2.2, 13.4.5, 17.2

live part	3.33 , 3.12, 6.2.2, 6.2.3, 6.2.4, 6.3.1, 6.3.2, 6.3.3, 6.4.1, 8.2.5, 8.2.8, 12.7.1, 13.4.5, 13.4.7, A.1
machine actuator	3.34 , 3.11, 3.35, 3.56, 9.2.2, 9.2.5.4.2, 9.2.5.4.3, 9.3.4, 14.6
machine, machinery	3.35 , 1, 3.8, 3.11, 3.20, 3.21, 3.26, 3.28, 3.30, 3.32, 3.34, 3.54, 3.56, 3.57, 4.1, 4.2.2, 4.4.1, 4.4.8, 4.6, 5.1, 5.2, 5.3.1, 5.3.4, 5.4, 5.5, 7.1, 7.2.1, 7.2.3, 7.3.1, 7.5, 7.8, 8.1, 8.2.1, 8.2.7, 9.1.1, 9.2.2, 9.2.3, 9.2.5.1, 9.2.5.2, 9.2.5.3, 9.2.5.4.1, 9.2.5.4.2, 9.2.5.4.3, 9.2.5.5, 9.2.6.2, 9.2.6.3, 9.2.7.1, 9.2.7.2, 9.2.7.3, 9.2.7.4, 9.2.7.5, 9.3.1, 9.3.3, 9.3.4, 9.3.5, 9.4.1, 9.4.3.1, 10.1.1, 10.1.2, 10.1.3, 10.1.4, 10.1.5, 10.3.2, 10.6, 11.1, 11.2.1, 11.3, 11.4, 11.5, 12.2, 12.6.2, 12.7.1, 13.1.2, 13.4.3, 13.4.4, 13.5.6, 13.5.7, 13.5.8, 14.2, 14.4, 15.1, 15.2, 16.2.1, 16.3, 16.4, 17.1, 17.2, 17.4, 17.6, 18.1, 18.2.1, 18.2.2, 18.2.3, 18.3, 18.7, A.1, A.3, A.4.2, Annex B, Annex C, D.1.2, F.1
marking	3.36 , 5.4, 5.5, 6.2.2, 9.4.3.1, 10.2.2, 11.2.1, 11.2.2, 13.1.1, 13.2.2, 16, Annex B
neutral conductor	3.37 , 3.33, 5.1, 5.3.3, 7.2.3, 7.3.2, 9.4.3.1, 12.7.2, 13.2.3, 13.2.4, D.3
obstacle	3.38 , 6.2.1, 6.2.2, 6.2.6, 9.2.5.4.3, 11.2.1
overcurrent	3.39 , 3.40, 3.52, 6.3.3, 7.1, 7.2, 7.7, 8.2.4, 9.1.3, 9.4.3.1, 14.1, 14.6, 15.1, 15.2.2, 17.4, 18.2.2, A.1, A.2, Annex B, D.2, D.3
overload	3.40 , 7.1, 7.3.1, 7.3.2, 7.3.3, 9.2.5.5, 9.4.3.1, 14.1, 14.6, 15.1, Annex B, D.2
plug/socket combination	3.41 , 5.3.2, 5.3.3, 5.6, 8.2.4, 11.2.1, 13.1.2, 13.3, 13.4.5, 13.4.6, 18.2.3
power circuit	3.42 , 1, 3.35, 4.1, 7.2.3, 11.2.2, 12.2, 12.7.8, 13.2.4, 18.3, 18.4
protective bonding	3.43 , 3.44, 3.45, 5.1, 6.3.3, 6.4.1, 7.2.4, 8.1, 8.2, 8.3, 9.1.1, 9.4.2.1, 9.4.3.1, 12.7.2, 12.7.8, 13.1.1, 13.4.5, 13.5.1, 15.1, 15.2.1, 18.1, 18.2.2, 18.2.3, 18.3, 18.4, A.1, A.3, A.4.2
protective bonding circuit	3.44 , 5.1, 6.4.1, 7.2.4, 8.1, 8.2, 8.4, 9.1.1, 9.4.2.1, 9.4.3.1, 12.7.2, 13.1.1, 13.4.5, 13.5.1, 15.1, 15.2.1, 18.1, 18.2.2, 18.2.3, 18.3, 18.4, A.3, A.4.2
protective conductor	3.45 , 3.44, 5.1, 5.2, 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.2.6, 8.2.7, 8.2.8, 8.4, 12.7.2, 12.7.3, 12.7.4, 13.1.1, 13.1.2, 13.2.2, 13.2.4, 18.2.2, A.1, A.2, A.4.1, Annex B
redundancy	3.46 , 9.4.1, 9.4.2.2

reference designation	3.47 , 11.2.1, 16.5, 17.3, 17.9, Annex B
risk	3.48 , 1, 3.31, 3.33, 3.43, 3.50, 3.53, 4.1, 4.2.2, 5.4, 9.2.4, 9.2.5.3, 9.2.5.4.1, 9.2.5.4.2, 9.2.6.2, 9.2.7.4, 9.4.1, 9.4.2, 11.4, 13.2.1, 13.4.2, 16.2.1, 16.2.2, A.1, Annex E, F.1
safeguard	3.49 , 3.50, 4.1, 9.3.1, 17.2
safeguarding	3.50 , 3.32, 4.1, 17.2
servicing level	3.51 , 5.3.4, 10.1.2, 11.2.1
short-circuit current	3.52 , 7.2.9, 12.7.8, Annex B, D.3
(electrically) skilled person	3.53 , 3.15, 3.19, 3.31, 5.5, 6.2.2, Annex B
supplier	3.54 , 4.1, 4.2.1, 4.3.1, 4.4.1, 4.4.7, 4.4.8, 4.5, 4.7, 6.2.2, 7.2.2, 7.2.7, 7.2.10, 10.3.2, 11.2.2, 11.4, 12.3, 13.2.1, 16.1, 16.3, 16.4, 17.1, 17.3, 17.9, Annex B, F.1
switching device	3.55 , 3.10, 5.3.2, 5.3.3, 6.2.4, 7.2.10, 7.3.2, 8.2.4, 9.2.5.4.3, 9.4.2.1, 9.4.3.1, 13.4.4, 13.4.5
uncontrolled stop	3.56 , 9.2.2
user	3.57 , 1, 3.54, 4.1, 4.3.2, 4.4.1, 4.4.7, 4.4.8, 4.5, 7.2.2, 7.2.9, 7.3.2, 10.3.2, 13.2.1, 14.5, 16.3, 17.3, 17.4, 17.9, Annex B, F.1

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60204-1:2005+AMD1:2008 CSV

Withdwn

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	128
INTRODUCTION	131
1 Domaine d'application	133
2 Références normatives	134
3 Définitions	136
4 Exigences générales	143
4.1 Généralités	143
4.2 Choix des équipements	144
4.3 Alimentation électrique	145
4.4 Environnement physique et conditions de fonctionnement	146
4.5 Transport et stockage	148
4.6 Précautions pour la manutention	148
4.7 Installation	148
5 Bornes des conducteurs d'alimentation et appareils de sectionnement et de coupe	148
5.1 Bornes des conducteurs d'alimentation	148
5.2 Borne pour le raccordement à l'installation de protection externe	149
5.3 Appareil de sectionnement de l'alimentation	149
5.4 Appareils de coupe pour éviter un redémarrage intempestif	152
5.5 Appareils de sectionnement pour l'équipement électrique	152
5.6 Protection contre une fermeture non autorisée, par inadvertance et/ou par erreur	153
6 Protection contre les chocs électriques	153
6.1 Généralités	153
6.2 Protection contre les contacts directs	153
6.3 Protection contre les contacts indirects	156
6.4 Protection par l'utilisation de la TBTP	157
7 Protection de l'équipement	158
7.1 Généralités	158
7.2 Protection contre les surintensités	158
7.3 Protection des moteurs contre les échauffements anormaux	161
7.4 Protection contre les températures anormales	162
7.5 Protection contre l'interruption ou la baisse de la tension d'alimentation et son rétablissement ultérieur	162
7.6 Protection contre la survitesse des moteurs	163
7.7 Protection contre les défauts à la terre et les courants résiduels	163
7.8 Protection de l'ordre des phases	163
7.9 Protection contre les surtensions d'origine atmosphérique ou surtensions de manœuvre	163
8 Liaisons équipotentielle	163
8.1 Généralités	163
8.2 Circuit de protection	166
8.3 Liaisons fonctionnelles	169
8.4 Mesures pour limiter les effets d'un courant de fuite élevé	169

9	Circuits de commande et fonctions de commande	169
9.1	Circuits de commande	169
9.2	Fonctions de commande	170
9.3	Verrouillages de protection	175
9.4	Fonctions de commande en cas de défaillance	176
10	Interface opérateur et appareils de commande montés sur la machine	180
10.1	Généralités	180
10.2	Boutons-poussoirs	181
10.3	Voyants lumineux de signalisation et dispositifs d'affichage	183
10.4	Boutons-poussoirs lumineux	184
10.5	Appareils de commande rotatifs	184
10.6	Appareils de mise en marche	184
10.7	Appareils d'arrêt d'urgence	184
10.8	Appareils de coupure d'urgence	185
10.9	Dispositif de commande de validation	186
11	Appareillage de commande: emplacement, montage et enveloppes	186
11.1	Exigences générales	186
11.2	Emplacement et montage	186
11.3	Degrés de protection	188
11.4	Enveloppes, portes et ouvertures	188
11.5	Accès à l'appareillage de commande	189
12	Conducteurs et câbles	190
12.1	Exigences générales	190
12.2	Conducteurs	190
12.3	Isolant	191
12.4	Courant admissible en fonctionnement normal	191
12.5	Chute de tension dans les câbles et conducteurs	192
12.6	Câbles souples	193
12.7	Câbles conducteurs, barres conductrices et assemblages glissants	194
13	Pratiques du câblage	196
13.1	Raccordement et cheminement	196
13.2	Identification des conducteurs	197
13.3	Câblage à l'intérieur des enveloppes	199
13.4	Câblage à l'extérieur des enveloppes	199
13.5	Canalisations, boîtes de raccordements et autres boîtiers	202
14	Moteurs électriques et équipements associés	204
14.1	Exigences générales	204
14.2	Enveloppes des moteurs	205
14.3	Dimensions des moteurs	205
14.4	Montage des moteurs et compartiments moteurs	205
14.5	Critère de choix des moteurs	205
14.6	Dispositifs de protection pour les freins mécaniques	206
15	Matériels accessoires et éclairage	206
15.1	Matériels accessoires	206
15.2	Eclairage local de la machine et de l'équipement	206

16	Marquages, signaux d'avertissement et désignations de référence	207
16.1	Généralités	207
16.2	Signaux d'avertissement	208
16.3	Identification fonctionnelle	208
16.4	Marquage de l'équipement	208
16.5	Désignations de référence	209
17	Documentation technique	209
17.1	Généralités	209
17.2	Informations à fournir	209
17.3	Exigences applicables à toute documentation	210
17.4	Documents d'installation	210
17.5	Schémas d'ensemble et schémas fonctionnels	211
17.6	Schémas des circuits	211
17.7	Manuel de fonctionnement	212
17.8	Manuel de maintenance	212
17.9	Nomenclature des pièces détachées	212
18	Vérification	212
18.1	Généralités	212
18.2	Vérification des conditions de protection par coupure automatique de l'alimentation	213
18.3	Essais de résistance d'isolement	216
18.4	Essais de tension	217
18.5	Protection contre les tensions résiduelles	217
18.6	Essais de fonctionnement	217
18.7	Nouveaux essais	217
	Annexe A (normative) Protection contre les contacts indirects dans les schémas TN	218
	Annexe B (informative) Questionnaire concernant l'équipement électrique des machines	222
	Annexe C (informative) Exemples de machines couvertes par la présente partie de la CEI 60204	226
	Annexe D (informative) Courant admissible et protection contre les surintensités des conducteurs et câbles dans les équipements électriques des machines	228
	Annexe E (informative) Explication sur les fonctions de manœuvre d'urgence	234
	Annexe F (informative) Guide pour l'utilisation de la présente partie de la CEI 60204	235
	Annexe G (informative) Comparaison des sections usuelles de conducteurs	237
	Bibliographie	239
	Index	241
	Figure 1 – Schéma d'ensemble d'une machine type	132
	Figure 2 – Exemple de liaisons équipotentielles pour l'équipement électrique d'une machine	165
	Figure 3 – Méthode a)	179
	Figure 4 – Méthode b)	179
	Figure A.1 – Disposition usuelle pour la mesure de l'impédance de boucle de défaut	221
	Figure D.1 – Méthodes d'installation des conducteurs et câbles indépendamment du nombre de conducteurs/câbles	229
	Figure D.2 – Paramètres des conducteurs et dispositifs de protection	231

Tableau 1 – Section minimale du conducteur de protection externe en cuivre	149
Tableau 2 – Code de couleurs pour organes de commande à bouton-poussoir et leur signification.....	182
Tableau 3 – Symboles pour boutons-poussoirs.....	182
Tableau 4 – Couleurs des voyants lumineux de signalisation et leur signification suivant la condition de la machine	183
Tableau 5 – Sections minimales des conducteurs en cuivre.....	190
Tableau 6 – Exemples de courants admissibles (I_Z) pour conducteurs ou câbles en cuivre isolés au PVC, en régime permanent, pour une température ambiante de +40 °C, pour différentes méthodes d'installation.....	192
Tableau 7 – Facteurs de réduction pour des câbles enroulés sur tambours.....	194
Tableau 8 – Rayon minimal de courbure permis pour le guidage forcé de câbles souples....	201
Tableau 9 – Application des méthodes d'essai aux schémas TN.....	215
Tableau 10 – Longueurs de câbles maximales autorisées entre chaque appareil de protection et sa charge.....	216
Tableau A.1 – Temps de coupure maximal en schéma TN.....	218
Tableau D.1 – Facteurs de réduction.....	228
Tableau D.2 – Facteurs de réduction de I_Z pour groupage.....	230
Tableau D.3 – Facteurs de réduction de I_Z pour les câbles multiconducteurs jusqu'à 10 mm ²	230
Tableau D.4 – Classification des conducteurs.....	231
Tableau D.5 – Températures maximales admissibles du conducteur en conditions normales et conditions de court-circuit	232
Tableau F.1 – Options d'utilisation.....	236
Tableau G.1 – Comparaison des dimensions de conducteurs	237

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SÉCURITÉ DES MACHINES – ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE DES MACHINES –

Partie 1: Règles générales

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60204-1 a été établie par le comité d'études 44: Sécurité des machines – Aspects électrotechniques.

Cette édition constitue une révision technique. Elle reprend des éléments de la quatrième édition modifiée afin de fournir les exigences générales pour les machines, y compris les machines mobiles et les installations de machines complexes (par exemple les machines importantes).

Cette version consolidée de la CEI 60204-1 comprend la cinquième édition (2005) [documents 44/494/FDIS et 44/502/RVD] et son amendement 1 (2008) [documents 44/575/CDV et 44/580/RVC].

Le contenu technique de cette version consolidée est donc identique à celui de l'édition de base et à son amendement; cette version a été préparée par commodité pour l'utilisateur.

Elle porte le numéro d'édition 5.1.

Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par l'amendement 1.

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

Dans certains pays, les différences suivantes existent:

- 4.3.1: Les caractéristiques de tensions fournies par le réseau de distribution public sont données dans l'EN 50160:1999.
- 5.1: Exception non permise (USA).
- 5.1: Les schémas TN-C ne sont pas admis dans les installations à basse tension dans les bâtiments (Norvège).
- 5.2: Les bornes pour le raccordement des conducteurs de mise à la terre pour des raisons de protection peuvent être identifiées par la couleur verte, les lettres "G" ou "GR", "GRD" ou "GND", ou les mots "ground" ou "grounding" ou le symbole graphique CEI 60417-5019 (DB: 2002-10) ou toute combinaison (USA).
- 6.3.3 b), 13.4.5 b), 18.2.1: Les schémas TT de puissance ne sont pas autorisés (USA).
- 7.2.3: La coupure du conducteur neutre est obligatoire en schéma TN-S (France et Norvège).
- 7.2.3: Troisième alinéa: la distribution d'un conducteur neutre dans un schéma IT n'est pas autorisée (USA et Norvège).
- 9.1.2: La tension nominale maximale d'un circuit de commande en alternatif est de 120 V (USA).
- 12.2: Seuls les conducteurs à âme câblée sont admis sur les machines, mais les conducteurs massifs de section 0,2 mm² sont autorisés dans les enveloppes (USA).
- 12.2: Le conducteur de circuit de puissance le plus faible autorisé sur les machines est de 0,82 mm² (AWG 18) pour des conducteurs multifilaires ou dans les enveloppes (USA).
- Tableau 5: La section est spécifiée dans l'ANSI/NFPA 79 en dimensions américaines (AWG) (USA). Voir Annexe G.
- 13.2.2: Pour le conducteur de protection, la couleur VERTE (avec ou sans bandes JAUNES) est utilisée comme équivalent à la combinaison bicolore VERT-et-JAUNE (USA et Canada).
- 13.2.3: La couleur BLANCHE ou GRISE est utilisée pour repérer les conducteurs neutre mis à la terre au lieu du BLEU (USA et Canada).
- 15.2.2: Premier alinéa. Valeur maximale entre conducteurs 150 V (USA).
- 15.2.2: Deuxième alinéa, 5ème tiret: la caractéristique de courant en pleine charge des circuits d'éclairage ne dépasse pas 15 A (USA).
- 16.4: Exigences de marquage de plaque signalétique (USA).

La CEI 60204 comprend les parties suivantes, sous le titre général *Sécurité des machines – Équipement électrique des machines*:

- Partie 1: Règles générales
- Partie 11: Prescriptions pour les équipements HT fonctionnant à des tensions supérieures à 1 000 V c.a. ou 1 500 V c.c. et ne dépassant pas 36 kV
- Partie 31: Règles particulières de sécurité et de CEM pour machines à coudre, unités et systèmes de couture
- Partie 32: Prescriptions pour les appareils de levage
- Part 33: Particular requirements for semiconductor manufacturing equipment¹

¹ A l'étude.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de ses amendements ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60204-1:2005+AMD1:2008 CSV

Withdrawn

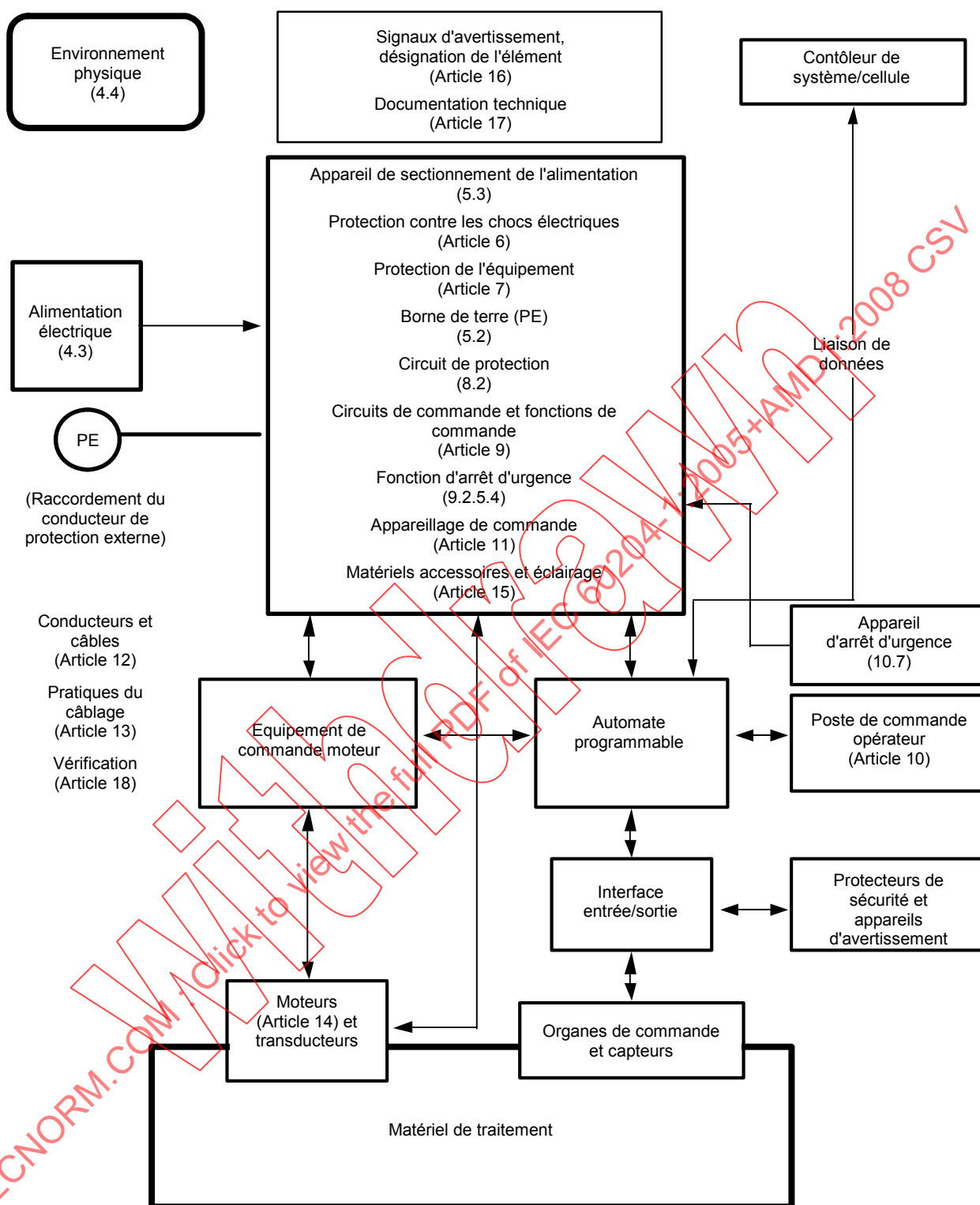
INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 60204 fournit les exigences et recommandations relatives à l'équipement électrique des machines en vue d'améliorer:

- la sécurité des personnes et des biens;
- la cohérence de réponse des commandes;
- la facilité de la maintenance.

Des informations complémentaires sur l'utilisation de la présente partie de la CEI 60204 sont données dans l'Annexe F.

La Figure 1 est fournie en tant qu'aide pour la compréhension des relations entre les différents éléments d'une machine et ses équipements associés. La Figure 1 est un schéma d'ensemble d'une machine type et de ses équipements associés montrant les divers éléments de l'équipement électrique explicités dans la présente partie de la CEI 60204. Les chiffres entre parenthèses () renvoient aux Articles et Paragraphes du présent document. Il est entendu dans la Figure 1 que la totalité des éléments pris ensemble y compris les moyens de protection, outillages/auxiliaires, logiciels et la documentation constituent la machine et que celle-ci ou plusieurs machines fonctionnant ensemble avec habituellement au moins un niveau de supervision constituent une cellule ou un système de production.



IEC 1388/05

Figure 1 – Schéma d'ensemble d'une machine type

SÉCURITÉ DES MACHINES – ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE DES MACHINES –

Partie 1: Règles générales

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60204 s'applique aux équipements et systèmes électriques, électroniques et électroniques programmables des machines non portables à la main en fonctionnement y compris un groupe de machines fonctionnant ensemble d'une manière coordonnée.

NOTE 1 La présente partie de la CEI 60204 est une norme d'application et n'est pas destinée à limiter ou inhiber les progrès technologiques.

NOTE 2 Dans le texte de la présente partie de la CEI 60204, le terme *électrique* signifie électrique, électronique et électronique programmable (c'est-à-dire qu'un *équipement électrique* signifie un équipement électrique, électronique et électronique programmable).

NOTE 3 Dans le cadre de la présente partie de la CEI 60204, le terme *personne* s'applique à n'importe quel individu et indique les personnes désignées et averties par l'utilisateur ou son ou ses agent(s) pour l'utilisation ou la maintenance de la machine concernée.

L'équipement couvert dans la présente partie de la CEI 60204 commence au point de connexion de l'alimentation à l'équipement électrique de la machine (voir 5.1).

NOTE 4 Les exigences concernant l'installation de l'alimentation électrique dans les bâtiments sont données dans la série CEI 60364.

La présente partie de la CEI 60204 est applicable à l'équipement électrique ou aux parties de l'équipement électrique qui fonctionnent sous une tension d'alimentation nominale n'excédant pas 1 000 V en courant alternatif ou 1 500 V en courant continu et pour des fréquences nominales d'alimentation n'excédant pas 200 Hz.

NOTE 5 Pour des tensions supérieures, voir la CEI 60204-11.

Cette partie de la CEI 60204 ne couvre pas toutes les exigences (par exemple la protection, le verrouillage ou la commande) qui sont nécessaires ou prescrites par d'autres normes ou réglementations destinées à protéger les personnes de risques autres que les risques électriques. Chaque type de machine a des exigences propres qu'il faut prendre en compte pour fournir la sécurité appropriée.

Cette partie inclut spécifiquement, mais n'est pas limitée à, l'équipement électrique des machines telles que définies en 3.35.

NOTE 6 L'Annexe C donne une liste d'exemples de machines dont l'équipement électrique peut être couvert par la présente partie de la CEI 60204.

Cette partie de la CEI 60204 ne spécifie pas les exigences complémentaires et particulières pouvant s'appliquer à l'équipement électrique des machines qui, par exemple:

- sont destinées à être utilisées à l'air libre (c'est-à-dire à l'extérieur de bâtiments ou d'autres structures de protection);
- utilisent, préparent ou produisent des matériaux potentiellement explosifs (par exemple de la peinture ou de la sciure);
- sont destinées à être utilisées dans des ambiances potentiellement inflammables et/ou explosives;
- présentent des risques particuliers lors de la fabrication ou de l'utilisation de certains matériaux;
- sont destinées à être utilisées dans les mines;

- sont des machines, unités ou systèmes de couture (couverts par la CEI 60204-31);
- sont des appareils de levage (couverts par la CEI 60204-32).

Les circuits de puissance, dans lesquels l'énergie électrique est utilisée directement comme outil de travail, sont exclus de cette partie de la CEI 60204.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application de la présente partie de la CEI 60204. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60034-1, *Machines électriques tournantes – Onzième Partie: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*

CEI 60034-5, *Machines électriques tournantes – Partie 5: Degrés de protection procurés par la conception intégrale des machines électriques tournantes (code IP) – Classification*

CEI 60034-11, *Machines électriques tournantes – Onzième Partie: Protection thermique*

CEI 60072-1, *Dimensions et séries de puissances des machines électriques tournantes – Partie 1: Désignation des carcasses entre 56 et 400 et des brides entre 55 et 1 080*

CEI 60072-2, *Dimensions et séries de puissances des machines électriques tournantes – Partie 2: Désignation des carcasses entre 355 et 1 000 et des brides entre 1 180 et 2 360*

CEI 60073:2002, *Principes fondamentaux et de sécurité pour l'interface homme-machine, le marquage et l'identification – Principes de codage pour les indicateurs et les organes de commande*

CEI 60309-1:1999, *Prises de courant pour usages industriels – Partie 1: Règles générales*

CEI 60364-4-41:2005, *Installations électriques à basse tension – Partie 4-41: Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les chocs électriques*

CEI 60364-4-43:2001, *Installations électriques des bâtiments – Partie 4-43: Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les surintensités*

CEI 60364-5-52:2001, *Installations électriques des bâtiments – Partie 5-52: Choix et mise en œuvre des matériels électriques – Canalisations*

CEI 60364-5-53:2002, *Installations électriques des bâtiments – Partie 5-53: Choix et mise en œuvre des matériels électriques – Sectionnement, coupure et commande*

CEI 60364-5-54:2002, *Installations électriques des bâtiments – Partie 5-54: Choix et mise en œuvre des matériels électriques – Mises à la terre, conducteurs de protection et conducteurs d'équipotentialité de protection*

CEI 60364-6-61:2001, *Installations électriques des bâtiments – Partie 6-61: Vérification – Vérification à la mise en service*

CEI 60417-DB:2002², *Symboles graphiques utilisables sur le matériel*

CEI 60439-1:1999, *Ensembles d'appareillage à basse tension – Partie 1: Ensembles de série et ensembles dérivés de série*

² "DB" se réfère à la base de données "on-line" de la CEI.

CEI 60445:1999, *Principes fondamentaux et de sécurité pour les interfaces homme-machines, le marquage et l'identification – Identification des bornes de matériels et des extrémités de certains conducteurs désignés et règles générales pour un système alphanumérique*

CEI 60446:1999, *Principes fondamentaux et de sécurité pour les interfaces homme-machines, le marquage et l'identification – Identification des conducteurs par des couleurs ou par des repères numériques*

CEI 60447:2004, *Principes fondamentaux et de sécurité pour l'interface homme-machine, le marquage et l'identification – Principes de manoeuvre*

CEI 60529:1999, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*
Amendement 1 (2001)

CEI 60617-DB:2004³, *Symboles graphiques pour schémas*

CEI 60261-3:1979, *Installations électriques pour chantiers extérieurs soumis à des conditions sévères (y compris mines à ciel ouvert et carrières) – Troisième partie: Prescriptions générales relatives au matériel électrique*

CEI 60664-1:1992, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, prescriptions et essais*

CEI 60947-1:2004, *Appareillage à basse tension – Partie 1: Règles générales*

CEI 60947-2:2003, *Appareillage à basse tension – Partie 2: Disjoncteurs*

CEI 60947-3:1999, *Appareillage à basse tension – Partie 3: Interrupteurs, sectionneurs, interrupteurs-sectionneurs et combinés-fusibles*

CEI 60947-5-1:2003, *Appareillage à basse tension – Partie 5-1: Appareils et éléments de commutation pour circuits de commande – Appareils électromécaniques pour circuits de commande*

CEI 60947-7-1:2002, *Appareillage à basse tension – Partie 7-1: Matériels accessoires – Blocs de jonction pour conducteurs en cuivre*

CEI 61082-1:1991, *Etablissement des documents utilisés en électrotechnique – Partie 1: Règles générales*

CEI 61082-2:1993, *Etablissement des documents utilisés en électrotechnique – Partie 2: Schémas adaptés à la fonction*

CEI 61082-3:1993, *Etablissement des documents utilisés en électrotechnique – Partie 3: Schémas, tableaux et listes des connexions*

CEI 61082-4:1996, *Etablissement des documents utilisés en électrotechnique – Partie 4: Documents d'implantation et d'installation*

CEI 61140:2001, *Protection contre les chocs électriques – Aspects communs aux installations et aux matériels*

CEI 61310 (toutes les parties), *Sécurité des machines – Indication, marquage et manoeuvre*

CEI 61346 (toutes les parties), *Systèmes industriels, installations et appareils, et produits industriels – Principes de structuration et désignations de référence*

CEI 61557-3:1997, *Sécurité électrique dans les réseaux de distribution basse tension de 1000 V c.a. et 1500 V c.c. – Dispositifs de contrôle, de mesure ou de surveillance de mesures de protection – Partie 3: Impédance de boucle*

³ "DB" se réfère à la base de données "on-line" de la CEI.

CEI 61558-1:1997, *Sécurité des transformateurs, blocs d'alimentation et analogues – Partie 1: Règles générales et essais*
Amendement 1 (1998)

CEI 61558-2-6, *Sécurité des transformateurs, blocs d'alimentation et analogues – Partie 2-6: Règles particulières pour les transformateurs de sécurité pour usage général*

CEI 61984:2001, *Connecteurs – Exigences de sécurité et essais*

CEI 62023:2000, *Structuration des informations et de la documentation techniques*

CEI 62027:2000, *Etablissement des nomenclatures de composants*

CEI 62061:2005, *Sécurité des machines – Sécurité fonctionnelle des systèmes de commande électriques, électroniques et électroniques programmables relatifs à la sécurité*

CEI 62079:2001, *Etablissement des instructions – Structure, contenu et présentation*

ISO 7000:2004, *Symboles graphiques utilisables sur le matériel – Index et tableau synoptique*

ISO 12100-1:2003, *Sécurité des machines – Notions fondamentales, principes généraux de conception – Partie 1: Terminologie de base, méthodologie*

ISO 12100-2:2003, *Sécurité des machines – Notions fondamentales, principes généraux de conception – Partie 2: Principes techniques*

ISO 13849-1:2006, *Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatifs à la sécurité – Partie 1: Principes généraux de conception*

ISO 13849-2:2003, *Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatifs à la sécurité – Partie 2: Validation*

ISO 13850:2006, *Sécurité des machines – Arrêt d'urgence – Principes de conception*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

organe de commande

partie d'un appareil sur laquelle une action manuelle externe doit être appliquée

NOTE 1 L'organe de commande peut prendre la forme d'une poignée, d'un bouton, d'un bouton-poussoir, d'une roulette, d'un plongeur, etc.

NOTE 2 Certains organes n'exigent pas d'effort extérieur, mais seulement une action.

NOTE 3 Voir aussi 3.34.

3.2

température ambiante

température de l'air ou du milieu à l'emplacement où le matériel doit être utilisé

3.3

barrière

élément assurant la protection contre les contacts directs dans toute direction habituelle d'accès

3.4

chemin de câbles

support de câbles constitué d'une base continue, munie de rebords et ne comportant pas de couvercle

NOTE Un chemin de câbles peut être perforé ou non.

[VEI 826-15-08]

3.5

système de goulottes

ensemble d'enveloppes fermées, munies d'un fond avec un couvercle amovible, destiné à la protection complète des conducteurs isolés, des câbles ou cordons ainsi qu'au logement d'autres matériels électriques

3.6

concomitant

agissant ensemble; utilisé pour décrire une situation dans laquelle deux ou plusieurs appareils de commande sont actifs en même temps (mais pas nécessairement en synchronisme)

3.7

conduit

enveloppe fermée, de section droite circulaire ou non, destinée à la mise en place ou au remplacement de conducteurs isolés ou de câbles par tirage, dans les installations électriques

NOTE Il convient que les conduits soient suffisamment fermés de manière que les conducteurs et/ou les câbles isolés puissent être tirés et non insérés latéralement.

[VEI 826-06-03]

3.8

circuit de commande (d'une machine)

circuit utilisé pour la commande, y compris la surveillance, d'une machine et de l'équipement électrique

3.9

appareil de commande

appareil raccordé au circuit de commande et servant à commander le fonctionnement de la machine (par exemple un capteur de position, un auxiliaire manuel de commande, un relais, un contacteur, un électrodistributeur)

3.10

appareillage de commande

appareils de connexion et leur combinaison avec les appareils de commande, de mesure, de protection et de réglage associés, ainsi que les ensembles de tels appareils avec les connexions, les accessoires, les enveloppes et les supports correspondants, destinés en principe à la commande des appareils utilisateurs d'énergie électrique

[VEI 441-11-03, modifiée]

3.11

arrêt contrôlé

arrêt du mouvement d'une machine en maintenant la puissance électrique aux actionneurs durant la procédure d'arrêt

3.12

contact direct

contact de personnes ou d'animaux domestiques ou d'élevage avec des parties actives

[VEI 826-12-03]

3.13

manœuvre positive d'ouverture (d'un élément de contact)

accomplissement de la séparation des contacts résultant directement d'un mouvement de l'organe de commande et effectué au moyen de pièces non élastiques (par exemple sans l'intermédiaire de ressorts)

[CEI 60947-5-1, K.2.2]

3.14

canalisation

canal fermé destiné expressément au support et à la protection de conducteurs, de câbles et de barres électriques

NOTE Les conduits (voir 3.7), les systèmes de goulottes (voir 3.5) et les canaux enterrés sont des types de canalisations.

3.15

zone de service électrique

local ou emplacement pour matériels électriques dont l'accès est destiné à être restreint aux personnes qualifiées ou averties, par ouverture d'une porte ou retrait d'une barrière, sans l'aide d'une clé ou d'un outil et qui est clairement marqué à l'aide de signaux d'avertissement appropriés

3.16

équipement électronique

partie d'un équipement électrique comprenant des circuits dépendants pour son fonctionnement de dispositifs et composants électroniques

3.17

appareil d'arrêt d'urgence

appareil pour circuit de commande manœuvré manuellement et utilisé pour provoquer un arrêt d'urgence

[ISO 13850, 3.2]

NOTE Voir Annexe E.

3.18

appareil de coupure d'urgence

appareil de commande manœuvré manuellement et destiné à couper l'alimentation électrique de tout ou partie d'une installation s'il y a risque de choc électrique ou tout autre risque d'origine électrique

NOTE Voir Annexe E.

3.19

zone fermée de service électrique

local ou emplacement de matériels électriques dont l'accès est destiné à être restreint aux personnes qualifiées ou averties par ouverture d'une porte ou retrait d'une barrière à l'aide d'une clé ou d'un outil et qui est clairement marqué à l'aide de signaux d'avertissement appropriés

3.20

enveloppe

élément assurant la protection des matériels contre certaines influences externes, et dans toutes les directions, la protection contre les contacts directs

NOTE Cette définition tirée du VEI nécessite les explications suivantes dans le cadre de la présente partie de la CEI 60204:

- a) Les enveloppes assurent la protection de personnes ou d'animaux domestiques ou d'élevage contre l'accès aux parties dangereuses.

- b) Les barrières, les formes des ouvertures, ou tout autre moyen approprié pour prévenir ou limiter la pénétration des calibres d'essai spécifiés, soit fixés sur l'enveloppe, soit formés par l'appareillage sous enveloppe sont considérés comme faisant partie de l'enveloppe, sauf s'ils peuvent être démontés sans l'aide d'une clef ou d'un outil.
- c) Une enveloppe peut être:
- une armoire ou un coffret, monté sur la machine, ou séparé de la machine;
 - un compartiment, constitué par un espace fermé dans la structure de la machine.

3.21

équipement

matériel, accessoires, appareils, composants, applications, fixations, instruments et autres utilisés comme une partie d'une installation électrique ou raccordés à l'équipement électrique de machines

3.22

liaison équipotentielle

mise en œuvre de liaisons électriques entre parties conductrices pour réaliser l'équipotentialité

[VEI 195-01-10]

3.23

partie conductrice accessible masse

partie conductrice d'un matériel électrique susceptible d'être touchée et qui n'est pas normalement sous tension mais qui peut le devenir en cas de défaut

[VEI 826-12-10, modifié]

3.24

élément conducteur étranger

élément susceptible d'introduire un potentiel, généralement celui de la terre, et ne faisant pas partie de l'installation électrique

[VEI 826-12-11, modifié]

3.25

défaillance

cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise

NOTE 1 Après défaillance d'une entité, cette entité a un défaut.

NOTE 2 Une "défaillance" est un passage d'un état à un autre, par opposition à un "défaut", qui est un état.

NOTE 3 La notion de défaillance, telle qu'elle est définie, ne s'applique pas à une entité constituée seulement de logiciel.

[VEI 191-04-01, modifiée]

NOTE 4 En pratique, les termes défaut et défaillance sont souvent utilisés comme synonymes.

3.26

défaut

état d'une entité inapte à accomplir une fonction requise, non comprise l'incapacité due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées, ou due à un manque de moyens extérieurs

NOTE 1 Un défaut est souvent la conséquence d'une défaillance de l'entité elle-même, mais il peut exister sans défaillance préalable.

NOTE 2 En anglais le terme «fault» et sa définition sont identiques à ceux donnés dans le VEI 191-05-01. Dans le domaine des machines, en français et en allemand on utilise les termes «défaut» et «Fehler» de préférence aux termes «panne» et «Fehlzustand» qui sont donnés avec la même définition.

3.27

liaison fonctionnelle

liaison équipotentielle réalisée pour le fonctionnement correct de l'équipement électrique

3.28

phénomène dangereux

risque

source potentielle de blessure physique ou d'atteinte à la santé

NOTE 1 L'expression "phénomène dangereux" et le terme "risque" (au sens de "phénomène dangereux") peuvent être qualifiés de manière à faire apparaître l'origine (par exemple, un phénomène dangereux mécanique, un phénomène dangereux électrique) ou la nature du dommage potentiel (par exemple: un risque de choc électrique, un risque de coupure, un risque d'intoxication, un risque d'incendie).

NOTE 2 Le phénomène dangereux envisagé dans cette définition:

- ou bien est présent en permanence pendant l'utilisation normale de la machine (par exemple: un déplacement d'éléments mobiles dangereux, un arc électrique pendant une phase de soudage, une mauvaise posture, une émission de bruit, température élevée);
- ou bien peut apparaître de manière inattendue (par exemple: une explosion, un risque d'écrasement résultant d'une mise en marche intempestive/inattendue, une projection résultant d'une rupture, une chute résultant d'une accélération ou d'une décélération).

[ISO 12100-1, 3.6, modifiée]

3.29

contact indirect

contact de personnes ou d'animaux domestiques ou d'élevage avec des masses mises sous tension par suite d'un défaut d'isolement

[VEI 826-12-04, modifié]

3.30

système d'alimentation par induction

système de transfert de puissance par induction comportant un dispositif convertisseur et un dispositif conducteur, le long desquels un ou plusieurs détecteur(s) ou convertisseur(s) détecteur(s) peuvent se déplacer, sans aucun contact galvanique ou mécanique, afin de transférer l'énergie électrique par exemple à une machine mobile

NOTE Le dispositif conducteur et le détecteur sont analogues respectivement à un primaire et un secondaire d'un transformateur.

3.31

personne avertie (en électricité)

personne suffisamment informée ou surveillée par une personne qualifiée (en électricité) pour lui permettre de percevoir les risques et d'éviter les dangers que peut présenter l'électricité

[VEI 826-18-02, modifié]

3.32

verrouillage (pour la protection)

disposition qui interconnecte un ou des protecteurs ou appareils avec le système de commande et/ou tout ou partie de la distribution d'énergie électrique à la machine

3.33

partie active

tout conducteur ou partie conductrice destiné à être sous tension en service normal, ainsi que le conducteur neutre, mais, par convention, à l'exclusion du conducteur PEN

NOTE Ce terme n'implique pas nécessairement un risque de choc électrique.

3.34**actionneur**

mécanisme de puissance utilisé pour animer une machine

3.35**machine**

ensemble de pièces ou d'organes liés entre eux, dont au moins un est mobile, auxquels sont associés, selon les besoins, des actionneurs, des circuits de commande et de puissance, réunis de façon solidaire en vue d'une application définie, notamment pour la transformation, le traitement, le déplacement et le conditionnement d'un matériau

Le terme "machine" désigne aussi un ensemble de machines qui, afin de concourir à un même résultat, sont disposées et commandées de manière à être solidaires dans leur fonctionnement

[ISO 12100-1, 3.1, modifiée]

NOTE Le terme "composant" est employé ici au sens général et il ne fait pas seulement référence aux composants électriques.

3.36**marquage**

signes ou inscriptions utilisés en premier lieu pour les besoins d'identification du matériel, des composants et/ou des appareils, lesquels peuvent concerner certaines caractéristiques de ceux-ci

3.37**conducteur (de) neutre****N**

conducteur relié électriquement au point neutre et pouvant contribuer à la distribution de l'énergie électrique

[VEI 826-14-07]

3.38**obstacle**

élément empêchant un contact direct fortuit mais ne s'opposant pas à une action délibérée

3.39**surintensité**

tout courant supérieur à la valeur assignée. Pour les conducteurs, la valeur assignée est le courant admissible

[VEI 826-11-14, modifiée]

3.40**surcharge (d'un circuit)**

relation temps/courant dans un circuit supérieure à la pleine charge assignée du circuit lorsque ce dernier n'est pas en défaut

NOTE Il convient de ne pas utiliser le terme *surcharge* comme un synonyme de *surintensité*.

3.41**ensemble fiche-prise**

composant et composant adapté d'accouplement, approprié pour terminer les conducteurs, destiné à la connexion et à la déconnexion de deux ou plusieurs conducteurs

NOTE Les ensembles fiche-prise comprennent par exemple:

- les prises mobiles qui satisfont aux exigences de la CEI 61984;
- une fiche et un socle de prise de courant, un prolongateur ou un connecteur selon la CEI 60309-1;
- une fiche et un socle de prise de courant selon la CEI 60884-1 ou un connecteur selon la CEI 60320-1.

3.42

circuit de puissance

circuit qui transmet l'énergie du réseau aux éléments d'équipement utilisés directement pour le travail effectué par la machine et aux transformateurs alimentant les circuits de commande

3.43

liaison de protection

liaison équipotentielle destinée à la protection contre les chocs électriques

NOTE Les mesures destinées à protéger contre les chocs électriques peuvent aussi réduire le risque de brûlure ou d'incendie.

3.44

circuit de protection

ensemble des conducteurs de protection et des parties conductrices raccordés ensemble afin d'assurer la protection contre les chocs électriques en cas de défaut d'isolement

3.45

conducteur de protection

conducteur prescrit pour une liaison de protection dans certaines mesures de protection contre les chocs électriques et destiné à relier électriquement certaines des parties suivantes:

- masses;
- éléments conducteurs étrangers;
- borne principale de mise à la terre (PE)

[VEI 826-13-22, modifiée]

3.46

redondance

utilisation de plusieurs dispositifs ou systèmes, ou d'éléments d'un dispositif ou système, visant à garantir que si l'un d'eux est défaillant dans l'exécution de sa fonction, un autre est disponible pour exécuter ladite fonction

3.47

désignation de référence

code distinctif servant à identifier un élément dans la documentation et sur le matériel

3.48

risque

combinaison de la probabilité d'un dommage (c'est-à-dire une blessure physique ou une atteinte à la santé) et de la gravité de ce dommage

[ISO 12100-1, 3.11, modifiée]

3.49

moyen de protection

protecteur ou dispositif de protection mis en place comme mesure de sécurité pour protéger les personnes contre un danger

3.50

protection

mesures de prévention faisant appel à des moyens de protection pour préserver les personnes des phénomènes dangereux qui ne peuvent raisonnablement être éliminés, ou des risques qui ne peuvent être suffisamment réduits, par l'application de mesures de prévention intrinsèque

[ISO 12100-1, 3.20]

3.51**plancher de service**

niveau sur lequel se trouvent les personnes intervenant pour le fonctionnement ou la maintenance de l'équipement électrique

3.52**courant de court-circuit**

surintensité résultant d'un court-circuit dû à un défaut ou à un branchement incorrect dans un circuit électrique

[VEI 441-11-07]

3.53**personne qualifiée (en électricité)**

personne ayant des connaissances techniques et une expérience lui permettant de percevoir les risques et d'éviter les dangers que peut présenter l'électricité

[VEI 826-18-01, modifiée]

3.54**fournisseur**

entité (par exemple un fabricant, un maître d'œuvre, un installateur, un intégrateur) qui fournit l'appareillage ou les services associés à la machine

NOTE L'organisation d'utilisateurs peut aussi agir en tant que son propre fournisseur.

3.55**appareil de connexion**

appareil destiné à établir et/ou à interrompre le courant dans un ou plusieurs circuits électriques

[VEI 441-14-01, modifiée]

NOTE Un appareil de connexion peut réaliser une de ces actions ou les deux.

3.56**arrêt non contrôlé**

arrêt du mouvement d'une machine par suppression de la puissance aux actionneurs

NOTE Cette définition ne nécessite pas que les autres dispositifs d'arrêt soient dans un état particulier, par exemple les freins mécaniques ou hydrauliques.

3.57**utilisateur**

entité qui utilise la machine et son équipement électrique associé

4 Exigences générales**4.1 Généralités**

Cette partie de la CEI 60204 est destinée à être appliquée aux équipements électriques utilisés avec une grande variété de machines et avec un groupe de machines travaillant ensemble de façon coordonnée.

Les risques associés aux phénomènes dangereux relatifs à l'équipement électrique doivent être estimés comme un élément des exigences globales pour l'appréciation du risque de la machine. Ceci permettra de déterminer la réduction adéquate du risque et les mesures de protection nécessaires pour les personnes pouvant être exposées à ces phénomènes dangereux tout en conservant un niveau de performance acceptable de la machine et de ses équipements.

Les situations dangereuses peuvent être dues, de façon non limitative à:

- des défaillances ou des défauts de l'équipement électrique conduisant à la possibilité de choc électrique ou de feu d'origine électrique;
- des défaillances ou des défauts dans les circuits de commande (ou les composants et appareils associés à ces circuits) conduisant à un dysfonctionnement de la machine;
- des perturbations ou des interruptions dans les sources d'alimentation ainsi que des défaillances ou des défauts dans les circuits de puissance conduisant à un dysfonctionnement de la machine;
- une perte de continuité dans les circuits qui dépendent de contacts glissants ou rotatifs conduisant à une défaillance d'une fonction de sécurité;
- des perturbations électriques, par exemple des perturbations électromagnétiques ou électrostatiques en provenance de l'extérieur de l'équipement électrique ou générées de façon interne, et conduisant à un fonctionnement incorrect de la machine;
- un relâchement d'énergie accumulée (électrique ou mécanique) conduisant à, par exemple, un choc électrique, un mouvement inattendu pouvant provoquer une blessure;
- un bruit audible d'un niveau tel qu'il provoque des problèmes de santé aux personnes;
- des températures de surfaces pouvant provoquer des blessures.

Les mesures de sécurité combinent les mesures prises au niveau de la conception et celles à mettre en œuvre par l'utilisateur.

Le processus de conception et développement doit identifier les dangers et les risques résultant de ceux-ci. Lorsque les dangers ne peuvent être éliminés et/ou que les risques ne peuvent être suffisamment réduits par l'application de mesures de prévention intrinsèque, des mesures de protection (par exemple la protection) doivent être fournies pour réduire le risque. Des dispositions complémentaires (par exemple des moyens de prise de conscience) doivent être fournies si une réduction du risque plus importante est nécessaire. De plus, des procédures de travail réduisant le risque peuvent être nécessaires.

L'utilisation du questionnaire présenté dans l'Annexe B de la présente partie de la CEI 60204 est recommandée pour faciliter l'accord entre l'utilisateur et le(les) fournisseur(s) sur les conditions de base et sur les spécifications complémentaires de l'utilisateur relatives à l'équipement électrique. Ces spécifications complémentaires visent à:

- fournir les caractéristiques supplémentaires qui dépendent du type de machine (ou groupe de machines) et de l'application;
- faciliter la maintenance et la réparation; et
- améliorer la fiabilité et la facilité de fonctionnement.

4.2 Choix des équipements

4.2.1 Généralités

Les composants et appareils électriques doivent:

- convenir à l'usage auquel ils sont destinés; et
- être conformes aux normes correspondantes de la CEI, lorsqu'elles existent; et
- être appliqués en accord avec les instructions du fournisseur.

4.2.2 Equipement électrique en conformité avec la série CEI 60439

L'équipement électrique de la machine doit satisfaire aux exigences de sécurité identifiées par l'appréciation du risque de la machine. Selon la machine, l'usage auquel elle est destinée et son équipement électrique, le concepteur peut choisir des parties de l'équipement électrique de la machine qui sont en conformité avec les parties appropriées de la série CEI 60439 (voir aussi l'Annexe F).

NOTE La série CEI 60439 spécifie les exigences pour les matériels couvrant une large étendue des applications possibles des ensembles d'appareillage à basse tension.

4.3 Alimentation électrique

4.3.1 Généralités

L'équipement électrique doit être prévu pour fonctionner convenablement dans les conditions d'alimentation spécifiées:

- en 4.3.2 ou en 4.3.3, ou
- par l'utilisateur (voir Annexe B), ou
- par le fournisseur dans le cas de source particulière, telle qu'un générateur embarqué.

4.3.2 Alimentations en courant alternatif

Tension	Tension permanente: 0,9 à 1,1 de la tension nominale.
Fréquence	0,99 à 1,01 de la valeur nominale en régime permanent; 0,98 à 1,02 sur une courte période.
Harmoniques	Distorsion harmonique inférieure à 10 % de la tension efficace totale entre conducteurs actifs (somme des harmoniques de rang 2 à 5). Une distorsion harmonique supplémentaire de 2 % de la tension efficace totale entre conducteurs sous tension pour la somme des harmoniques de rang 6 à 30 est admise.
Déséquilibre de tension	Ni la tension de la composante inverse, ni la tension de la composante d'alimentation triphasée homopolaire ne doivent être supérieures à 2 % de la tension de la composante directe.
Coupure de tension	L'alimentation ne doit pas être interrompue ou la tension ne doit pas tomber à zéro pendant plus de 3 ms à n'importe quel instant d'une période d'alimentation. Entre deux interruptions successives, il doit s'écouler au moins 1 s.
Creux de tension	Les creux de tension ne doivent pas dépasser 20 % de la tension crête de l'alimentation sur plus d'une période. Entre deux creux successifs, il doit s'écouler plus de 1 s.

4.3.3 Alimentations en courant continu

Par piles ou batteries:

Tension	0,85 à 1,15 de la tension nominale; 0,7 à 1,2 de la tension nominale dans le cas de véhicules électriques.
Coupure de tension	Inférieure à 5 ms.

Par convertisseur:

Tension 0,9 à 1,1 de la tension nominale.

Coupure de tension N'excédant pas 20 ms. Il doit s'écouler plus de 1 s entre les interruptions successives.

NOTE Cela diffère du Guide 106 de la CEI, afin de garantir un fonctionnement correct de l'équipement électronique.

Ondulation (de crête à crête) N'excédant pas 0,15 fois la tension nominale.

4.3.4 Systèmes d'alimentation spéciaux

Pour des alimentations spécifiques telles que générateurs embarqués, les limites données en 4.3.2 et 4.3.3 peuvent être dépassées si l'équipement est conçu pour fonctionner correctement dans ces conditions.

4.4 Environnement physique et conditions de fonctionnement

4.4.1 Généralités

L'appareillage électrique doit convenir à l'utilisation dans l'environnement physique et les conditions de fonctionnement de l'usage auquel il est destiné. Les exigences de 4.4.2 à 4.4.8 couvrent l'environnement physique et les conditions de fonctionnement de la plupart des machines relevant de la présente partie de la CEI 60204. Lorsque des conditions particulières s'appliquent ou lorsque les limites spécifiées sont dépassées, un accord peut-être nécessaire entre l'utilisateur et le fournisseur (voir 4.1).

4.4.2 Compatibilité électromagnétique (CEM)

L'équipement ne doit pas engendrer de perturbations électromagnétiques de niveau supérieur à celui approprié à son environnement prévu d'utilisation. De plus, l'équipement doit présenter un niveau d'immunité approprié aux perturbations électromagnétiques de manière qu'il puisse fonctionner correctement dans l'environnement prévu.

NOTE 1 Les normes génériques de CEM telles que la CEI 61000-6-1 ou la CEI 61000-6-2 et le CISPR 61000-6-3 ou la CEI 61000-6-4 donnent les limites générales d'émission et d'immunité CEM.

NOTE 2 La CEI 61000-5-2 donne les lignes directrices pour le câblage et la mise à la terre des systèmes électriques et électroniques en vue d'assurer la compatibilité électromagnétique (CEM). Si des normes de produits spécifiques existent (par exemple la CEI 61496-1, la CEI 61800-3 et la CEI 60947-5-2), elles prennent l'avantage sur les normes génériques.

Les mesures pour réduire la génération de perturbations électromagnétiques, par exemple les émissions conduites et rayonnées, comprennent:

- le filtrage principal;
- le blindage de câble;
- les enveloppes conçues pour réduire la transmission de radiofréquences;
- les techniques de suppression des radiofréquences.

Les mesures pour accroître l'immunité de l'équipement contre les perturbations conduites et les champs électromagnétiques générés aux fréquences radioélectriques comprennent:

- la conception d'un système de liaison fonctionnelle prenant en compte ce qui suit:
 - le raccordement des circuits électriques sensibles au châssis. Il convient que de telles terminaisons soient marquées ou étiquetées par le symbole CEI 60417-5020 (DB:2002-10):



- le raccordement du châssis à la terre (PE) par un conducteur de faible impédance devant les radiofréquences et de longueur aussi faible que possible;
- le raccordement direct des circuits ou des équipements électriques sensibles au conducteur de protection (PE) ou à un conducteur de mise à la terre fonctionnelle (FE) (voir Figure 2), afin de réduire les interférences de mode commun. Il convient que cette dernière borne soit marquée ou étiquetée par le symbole CEI 60417-5018 (DB:2002-10):



- la séparation des circuits sensibles des sources de perturbations;
- la conception des enveloppes en vue de réduire la transmission des radiofréquences;
- les pratiques de câblage de CEM:
 - l'usage de fils torsadés afin de réduire l'effet des perturbations de mode différentiel,
 - la conservation d'une distance suffisante entre les conducteurs émettant des perturbations et les conducteurs des circuits sensibles,
 - l'usage de l'orientation des câbles lorsque des câbles se croisent à un angle aussi proche que possible de 90°,
 - la disposition des conducteurs autant que possible parallèlement au plan de masse,
 - l'usage d'écrans électrostatiques et/ou de blindages électromagnétiques avec des terminaisons à faible impédance devant les radiofréquences.

4.4.3 Température de l'air ambiant

L'équipement électrique doit pouvoir fonctionner correctement à la température de l'air ambiant prévue. Les exigences minimales pour tous les équipements électriques correspondent à un fonctionnement correct pour une température de l'air comprise entre +5 °C et +40 °C. Pour des environnements à température très élevée (par exemple les climats chauds, les aciéries, les papeteries) et pour des environnements froids, des exigences complémentaires peuvent être nécessaires (voir Annexe B).

4.4.4 Humidité

L'équipement électrique doit pouvoir fonctionner correctement en présence d'une humidité relative ne dépassant pas 50 % à une température maximale de +40 °C. Une humidité relative supérieure peut être admise pour des températures plus faibles (par exemple 90 % à 20 °C).

Les effets dommageables d'une condensation occasionnelle doivent être évités par une conception du matériel et/ou, si nécessaire, par des mesures complémentaires appropriées (par exemple le chauffage ou le conditionnement de l'air incorporé, des trous d'évacuation).

4.4.5 Altitude

Les équipements électriques doivent pouvoir fonctionner correctement jusqu'à une altitude de 1 000 m au dessus du niveau moyen de la mer.

4.4.6 Agents de pollution

L'équipement électrique doit être convenablement protégé contre la pénétration des corps solides et des liquides (voir 11.3).

L'équipement électrique doit être convenablement protégé contre les polluants (par exemple les poussières, les acides, les gaz corrosifs, les sels) pouvant être présents dans l'environnement dans lequel il faut installer l'équipement électrique (voir Annexe B).

4.4.7 Rayonnements ionisants et non ionisants

Dans le cas où l'équipement est soumis à des rayonnements, (par exemple les micro-ondes, les UV, les lasers, les rayons X), des mesures complémentaires doivent être prises pour éviter un mauvais fonctionnement du matériel ou la détérioration accélérée des isolants. Un accord particulier entre le fournisseur et l'utilisateur peut être nécessaire (voir Annexe B).

4.4.8 Vibrations, chocs et coups

Les effets indésirables des vibrations, chocs et coups (aussi bien générés par la machine et son appareillage associé que créés par l'environnement physique) doivent être évités par le choix d'un équipement approprié, par son montage loin de la machine, par la mise en place d'accessoires de montage anti-vibratoires. Un accord particulier entre le fournisseur et l'utilisateur peut être nécessaire (voir Annexe B).

4.5 Transport et stockage

L'équipement électrique doit pouvoir, par conception ou grâce à des précautions adéquates, supporter les effets de températures de transport et de stockage comprises entre -25°C et $+55^{\circ}\text{C}$, pouvant atteindre $+70^{\circ}\text{C}$ durant de courtes périodes inférieures à 24 h. Des moyens convenables doivent être prévus pour se protéger des dégâts dus à l'humidité, aux vibrations et aux chocs. Un accord particulier entre le fournisseur et l'utilisateur peut être nécessaire (voir Annexe B).

NOTE Les câbles isolés au PVC constituent un équipement électrique sensible aux dommages causés par les basses températures.

4.6 Précautions pour la manutention

Les équipements électriques lourds et massifs devant être désolidarisés de la machine pour le transport, ou indépendants de celle-ci, doivent être munis de moyens adaptés pour la manutention par grue ou équipement similaire.

4.7 Installation

L'équipement électrique doit être installé conformément aux instructions du fournisseur de l'équipement électrique.

5 Bornes des conducteurs d'alimentation et appareils de sectionnement et de coupure

5.1 Bornes des conducteurs d'alimentation

Il est recommandé, lorsque cela est possible, que l'équipement électrique d'une machine soit raccordé à une source d'alimentation unique. Si une autre source d'alimentation est nécessaire pour certaines parties de l'équipement (par exemple un équipement électronique qui fonctionne sous une tension différente), il convient que cette alimentation soit autant que possible dérivée d'appareils (par exemple des transformateurs, des convertisseurs) faisant partie de l'équipement électrique de la machine. Pour des machines complexes importantes comportant plusieurs machines espacées travaillant ensemble de manière coordonnée, il peut exister plusieurs alimentations, selon les dispositions locales d'alimentation (voir 5.3.1).

A l'exception des cas où la machine est équipée d'une fiche de prise de courant pour le raccordement à l'alimentation (voir 5.3.2 e), il est recommandé que les conducteurs de l'alimentation se terminent aux bornes d'entrée de l'appareil de sectionnement de l'alimentation.

Si un conducteur neutre est utilisé, cela doit être clairement indiqué dans le dossier technique de la machine, par exemple dans le schéma d'installation et dans le schéma des circuits, et une borne isolée particulière, étiquetée **N** conformément à 16.1, doit être prévue pour le raccordement du conducteur neutre (voir aussi Annexe B).

Il ne doit pas y avoir de raccordement entre le conducteur neutre et le circuit de protection à l'intérieur de l'équipement électrique, ni usage de borne PEN combiné.

Exception: un raccordement peut être effectué entre la borne de neutre et la borne PE au point de raccordement de l'alimentation de la machine pour les schémas TN-C.

Toutes les bornes pour le raccordement de l'alimentation doivent être clairement identifiées en accord avec la CEI 60445 et 16.1. Pour l'identification de la borne du conducteur de protection externe, voir 5.2.

5.2 Borne pour le raccordement à l'installation de protection externe

Pour chaque source d'alimentation, une borne pour le raccordement de la machine à l'installation de protection externe ou au conducteur de protection externe doit être prévue à proximité des bornes des conducteurs de phase associés, selon le type d'alimentation.

La borne doit être d'une taille suffisante pour permettre le raccordement d'un conducteur de protection externe en cuivre de section conforme au Tableau 1.

Tableau 1 – Section minimale du conducteur de protection externe en cuivre

Section des conducteurs de phase en cuivre alimentant l'équipement $S \text{ mm}^2$	Section minimale du conducteur de protection externe en cuivre $S_p \text{ mm}^2$
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

Si le conducteur de protection externe n'est pas en cuivre, la taille de la borne doit être choisie en conséquence (voir aussi 8.2.2).

Pour chaque entrée d'alimentation, la borne de raccordement à l'installation de protection externe ou au conducteur de protection externe doit être identifiée par un marquage ou étiquetée avec les lettres **PE** (voir la CEI 60445).

5.3 Appareil de sectionnement de l'alimentation

5.3.1 Généralités

Un appareil de sectionnement de l'alimentation doit être fourni:

- pour chaque source d'alimentation d'une(des) machine(s);

NOTE L'alimentation peut être raccordée à la machine directement ou par l'intermédiaire d'un réseau d'alimentation. Les réseaux d'alimentation peuvent inclure des câbles conducteurs, des barres conductrices, des assemblages glissants, des systèmes de câbles souples (sur tourets, en guirlandes) ou des systèmes d'alimentation par induction.

- pour chaque alimentation embarquée.

L'appareil de sectionnement de l'alimentation doit séparer sur demande l'équipement électrique de la machine du réseau d'alimentation (par exemple pour une intervention sur la machine, y compris sur l'équipement électrique).

S'il y a deux ou plusieurs appareils de sectionnement, des verrouillages de protection pour leur fonctionnement correct doivent aussi être fournis afin d'empêcher une situation dangereuse, y compris un dommage à la machine ou aux travaux en cours.

5.3.2 Type

L'appareil de sectionnement de l'alimentation doit être l'un des types suivants:

- a) un interrupteur-sectionneur, avec ou sans fusibles, conforme à la CEI 60947-3, de catégorie d'emploi AC-23B ou DC-23B;
- b) un sectionneur avec ou sans fusibles conforme à la CEI 60947-3, équipé d'un contact auxiliaire provoquant dans tous les cas la coupure du circuit de charge par le ou les appareils de connexion avant l'ouverture des contacts principaux du sectionneur;
- c) un disjoncteur apte au sectionnement conformément à la CEI 60947-2;
- d) tout autre appareil de connexion relevant d'une norme de produit de la CEI relative à cet appareil et qui satisfait aux exigences de sectionnement de la CEI 60947-1 en même temps qu'à la catégorie d'utilisation définie dans la norme de produit appropriée et s'appliquant à la connexion des moteurs en charge ou à d'autres charges inductives;
- e) un ensemble fiche-prise pour une alimentation par câble souple.

5.3.3 Exigences

Quand l'appareil de sectionnement de l'alimentation est l'un des types spécifiés en 5.3.2 a) à d), il doit satisfaire à toutes les exigences suivantes:

- séparer l'équipement électrique de l'alimentation, et ne posséder qu'une position MISE HORS TENSION et une position MISE SOUS TENSION, clairement repérées par «O» et «I» (symboles CEI 60417-5008 (DB:2002-10) et CEI 60417-5007:(DB:2002-10), voir 10.2.2);
- comporter une ouverture visible ou un indicateur de position qui ne puisse indiquer la position MISE HORS TENSION que si tous les contacts sont effectivement ouverts et si les exigences pour la fonction de sectionnement ont été satisfaites;
- être équipé d'un organe de manœuvre extérieur (par exemple une poignée), (**exception:** un appareil de connexion manœuvré à manœuvre motorisé n'a pas besoin d'être manœuvré à l'extérieur de l'enveloppe s'il existe d'autres moyens pour l'ouvrir). Lorsque le moyen de manœuvre externe n'est pas destiné aux manœuvres d'urgence, il est recommandé qu'il soit coloré en NOIR ou GRIS (voir 10.7.4 et 10.8.4);
- pouvoir être verrouillé en position MISE HORS TENSION (sectionné) (par exemple à l'aide de cadenas). Lorsqu'il est ainsi verrouillé, une fermeture à distance ou en local doit être empêchée;
- couper tous les conducteurs actifs de son alimentation. Cependant, dans le schéma TN, le conducteur neutre peut être coupé ou non, excepté dans les pays où la coupure du conducteur neutre (s'il est utilisé) est obligatoire;
- avoir un pouvoir de coupure suffisant pour interrompre le courant du moteur le plus puissant lorsque son rotor est bloqué ainsi que la somme des courants en marche normale de tous les autres moteurs et/ou charges. Le pouvoir de coupure calculé peut être réduit en utilisant un facteur de diversité reconnu.

Lorsque l'appareil de sectionnement de l'alimentation est un ensemble fiche-prise, il doit satisfaire aux exigences suivantes:

- disposer de la capacité de coupure ou être interverrouillé avec un appareil de connexion dont le pouvoir de coupure est suffisant pour interrompre le courant du moteur le plus puissant lorsque son rotor est bloqué ainsi que la somme des courants en marche normale de tous les autres moteurs et/ou charges. Le pouvoir de coupure calculé peut être réduit en utilisant un facteur de diversité reconnu. Lorsque l'appareil de connexion verrouillé est manœuvré électriquement (par exemple un contacteur), il doit avoir une catégorie d'emploi appropriée.
- a) à f) selon 13.4.5.

NOTE Une fiche et le socle de prise de courant approprié, un prolongateur ou un connecteur relevant de la CEI 60309-1 peuvent satisfaire à ces exigences.

Si l'appareil de sectionnement de l'alimentation est un ensemble fiche-prise, il faut mettre en place un appareil de connexion de catégorie d'emploi appropriée pour mettre sous tension ou mettre hors tension la machine. Ceci peut être réalisé par l'emploi de l'appareil de connexion verrouillé décrit ci-dessus.

5.3.4 Moyens de manœuvre

Les moyens de manœuvre (par exemple, une poignée) de l'appareil de sectionnement de l'alimentation doivent être faciles à atteindre et situés entre 0,6 m et 1,9 m au-dessus du plancher de service. La valeur préférentielle pour la hauteur maximale est de 1,7 m.

NOTE Le sens de manœuvre est donné dans la CEI 61310-3.

5.3.5 Circuits exclus

Les circuits suivants peuvent ne pas être coupés par l'appareil de sectionnement de l'alimentation:

- les circuits d'éclairage alimentant des lampes utilisées pendant les travaux de maintenance ou de réparation;
- les circuits d'alimentation des fiches et socles de prises de courant utilisés exclusivement pour l'alimentation des matériels et outils de réparation et de maintenance (par exemple les perceuses à main, le matériel d'essai);
- les circuits de protection à minimum de tension prévus uniquement pour déclencher automatiquement lors d'une défaillance de l'alimentation;
- les circuits alimentant l'équipement qu'il convient de laisser sous tension pour un fonctionnement correct (par exemple les appareils de mesure commandés par la température, les appareils de chauffage de produits (en cours de fabrication) et les appareils de stockage de programme);
- les circuits de commande de verrouillage.

Il est cependant recommandé d'équiper ces circuits avec leur propre appareil de sectionnement.

Lorsque de tels circuits ne sont pas coupés par l'appareil de sectionnement de l'alimentation:

- une(des) étiquette(s) d'avertissement permanente(s) conformément à 16.1 doit (doivent) être placée(s) à proximité de l'appareil de sectionnement de l'alimentation;
- une mention correspondante doit être incluse dans le manuel de maintenance et une ou plusieurs des mesures suivantes doivent s'appliquer;
 - une étiquette d'avertissement permanente conforme à 16.1 est fixée à proximité de chaque circuit exclus, ou
 - le circuit exclus est séparé des autres circuits, ou
 - les conducteurs sont identifiés par la couleur en prenant en compte les recommandations de 13.2.4.

5.4 Appareils de coupure pour éviter un redémarrage intempestif

Des appareils de coupure pour éviter un redémarrage intempestif doivent être prévus (par exemple quand au cours des opérations de maintenance, la mise en marche de la machine ou d'une partie de la machine peut créer un phénomène dangereux).

De tels appareils doivent être appropriés et convenir à l'usage auquel ils sont destinés, doivent être convenablement situés, et être aisément identifiables par leur fonction et leur rôle (par exemple par un marquage durable conformément à 16.1 si nécessaire).

NOTE 1 La présente partie de la CEI 60204 ne donne pas toutes les dispositions pour empêcher les démarrages intempestifs. Voir l'ISO 14118 (EN 1037).

Des moyens doivent être fournis pour empêcher la fermeture par inadvertance et/ou par erreur de ces appareils soit à partir du poste de commande ou d'autres emplacements (voir aussi 5.6).

Les appareils suivants qui réalisent la fonction de sectionnement peuvent être fournis pour satisfaire à ce besoin:

- les appareils décrits en 5.3.2,
- les sectionneurs, les fusibles débrochables et les liaisons démontables uniquement s'ils sont situés dans une zone fermée de service électrique (voir 3.19).

On ne peut employer des appareils ne réalisant pas la fonction de sectionnement (par exemple un contacteur ouvert par un circuit de commande) que s'ils sont destinés à être utilisés dans des situations comprenant:

- les inspections;
- les réglages;
- les travaux sur l'équipement électrique lorsque:
 - il n'y a pas de danger lié aux chocs électriques (voir Article 6) et aux brûlures;
 - les moyens de coupure restent efficaces pendant les travaux;
 - le travail est de nature mineure (par exemple le remplacement d'appareils embrochables sans perturber le câblage existant).

NOTE 2 Le choix d'un appareil dépendra de l'appréciation du risque, en prenant en compte l'utilisation prévue de l'appareil; par exemple, l'utilisation de sectionneurs, de fusibles débrochables ou de liaisons démontables situés dans des zones fermées de service électrique peut être inadaptée pour un usage par des personnels de nettoyage (voir 17.2 b)12)).

5.5 Appareils de sectionnement pour l'équipement électrique

Des appareils doivent être fournis pour le sectionnement de l'équipement électrique afin de rendre possible des interventions lorsqu'il est désalimenté et sectionné. De tels appareils doivent être:

- appropriés et convenir à l'usage auquel ils sont destinés;
- placés convenablement;
- aisément identifiables par la(les) partie(s) ou circuit(s) de l'équipement desservi (par exemple par un marquage durable conformément à 16.1 si nécessaire).

Des moyens doivent être fournis pour empêcher la fermeture par inadvertance et/ou par erreur de ces appareils soit à partir du poste de commande ou d'autres emplacements (voir aussi 5.6).

L'appareil de sectionnement de l'alimentation (voir 5.3) peut, parfois, remplir cette fonction. Cependant, lorsqu'il est nécessaire d'intervenir sur des parties individuelles de l'équipement électrique d'une machine, ou sur une machine parmi plusieurs alimentées par un collecteur à barres commun, un câble conducteur ou un système d'alimentation par induction commun, un appareil de sectionnement doit être prévu pour chaque partie, ou pour chaque machine nécessitant un sectionnement séparé.

En complément à l'appareil de sectionnement de l'alimentation, les appareils suivants qui remplissent la fonction de sectionnement peuvent être fournis pour satisfaire à ce besoin:

- les appareils décrits en 5.3.2;
- les sectionneurs, les fusibles débrochables et les liaisons démontables uniquement s'ils sont situés dans une zone fermée de service électrique (voir 3.15) et si les informations appropriées sont fournies avec l'équipement électrique (voir 17.2 b)9) et b)12)).

NOTE Si la protection contre les chocs électriques est assurée conformément à 6.2.2 c), les fusibles débrochables ou les liaisons démontables sont destinés à être utilisés par des personnes qualifiées ou averties.

5.6 Protection contre une fermeture non autorisée, par inadvertance et/ou par erreur

Les appareils décrits en 5.4 et 5.5 situés à l'extérieur d'une zone fermée de service électrique doivent être équipés de moyens pour les sécuriser en position MISE HORS TENSION (état sectionné), (par exemple par des dispositions permettant la pose d'un cadenas, ou un verrouillage par clé captive). Lorsqu'ils sont ainsi sécurisés, la reconnexion à distance aussi bien qu'en local doit être empêchée.

En cas d'appareil de sectionnement non verrouillable (par exemple les fusibles débrochables, les liaisons démontables), d'autre moyens de protection contre la reconnexion (par exemple des étiquettes d'avertissement conformément à 16.1) peuvent être fournis.

Cependant, lorsqu'un ensemble fiche-prise utilisé conformément à 5.3.2 e) est situé de manière à pouvoir être conservé sous la surveillance directe de l'opérateur, la fourniture de moyens de sécurisation à l'état sectionné n'est pas obligatoire.

6 Protection contre les chocs électriques

6.1 Généralités

L'équipement électrique doit assurer la protection des personnes contre les chocs électriques résultant:

- de contacts directs (voir 6.2 et 6.4);
- de contacts indirects (voir 6.3 et 6.4).

Les dispositions pour cette protection données en 6.2, 6.3 et, dans le cas de la TBTP, en 6.4, constituent le choix recommandé par la CEI 60364-4-41. Si ces dispositions recommandées ne sont pas applicables, par exemple en raison des conditions physiques ou des conditions de fonctionnement, d'autres dispositions de la CEI 60364-4-41 peuvent être utilisées.

6.2 Protection contre les contacts directs

6.2.1 Généralités

Pour chaque circuit ou chaque partie de l'équipement électrique, les mesures définies soit en 6.2.2, soit en 6.2.3, et, si approprié en 6.2.4 doivent être appliquées.

Exception: Lorsque ces mesures ne sont pas appropriées, d'autres mesures pour la protection contre les contacts directs (par exemple par l'utilisation de barrières de protection, par mise hors de portée ou par l'utilisation d'obstacles de protection, par des techniques de construction ou d'installation empêchant l'accès) telles que décrites dans la CEI 60364-4-41 peuvent être appliquées (voir 6.2.5 et 6.2.6).

Si l'équipement est situé dans des emplacements ouverts à toute personne, y compris des enfants, les dispositions de 6.2.2 avec un degré minimal de protection contre les contacts directs de IP4X ou IPXXD (voir la CEI 60529), ou de 6.2.3 doivent être appliquées.

6.2.2 Protection au moyen d'enveloppes

Les parties actives doivent être placées à l'intérieur d'enveloppes conformes aux spécifications des Articles 4, 11 et 14 et fournir un degré de protection minimal contre les contacts directs de IP2X ou IPXXB (voir la CEI 60529).

Lorsque que le dessus de l'enveloppe est facilement accessible, le degré minimal de protection contre les contacts directs fourni par le dessus de l'enveloppe doit être IP4X ou IPXXD.

L'ouverture d'une enveloppe (c'est-à-dire l'ouverture des portes, des couvercles, des plaques de fermeture, et équivalent) ne doit être possible qu'à une des conditions suivantes:

- a) La nécessité d'utiliser une clé ou un outil pour l'accès. Pour les zones fermées de service électrique, voir la CEI 60364-4-41 ou la CEI 60439-1 selon le cas.

NOTE 1 L'utilisation d'une clef ou d'un outil est destinée à restreindre l'accès aux personnes qualifiées ou averties (voir 17.2 b)12)).

Les parties actives qui sont susceptibles d'être touchées lorsqu'on réarme ou ajuste les appareils prévus pour de telles opérations alors que l'équipement est encore connecté doivent être protégées contre les contacts directs avec un degré minimal de protection de IP2X ou IPXXB. Les autres parties actives situées à l'intérieur des portes doivent être protégées contre les contacts directs avec un degré minimal de protection de IP1X ou IPXXA.

- b) Le sectionnement de toutes les parties actives situées à l'intérieur de l'enveloppe avant que l'enveloppe ne puisse être ouverte.

Cette mesure peut être réalisée par l'interverrouillage de la porte avec un appareil de sectionnement (par exemple l'appareil de sectionnement de l'alimentation) de telle façon que la porte ne puisse être ouverte que lorsque l'appareil de sectionnement est ouvert, et que l'appareil de sectionnement ne puisse être fermé que lorsque la porte est fermée.

Exception: un dispositif spécial ou un outil, correspondant aux exigences du fournisseur, peut permettre de neutraliser le verrouillage, à condition:

- qu'il soit toujours possible d'ouvrir l'appareil de sectionnement alors que le verrouillage est neutralisé et, de verrouiller l'appareil de sectionnement en position MISE HORS TENSION ou d'empêcher par un autre moyen la fermeture non autorisée de l'appareil de sectionnement;
- que le verrouillage soit automatiquement remis en service à la fermeture de la porte;
- que les parties actives, qui sont susceptibles d'être touchées lorsqu'on réarme ou ajuste les appareils prévus pour de telles opérations alors que l'équipement est encore connecté, soient protégées contre les contacts directs avec un degré minimal de protection de IP2X ou IPXXB, et que les autres parties actives situées à l'intérieur des portes aient un degré minimal de protection contre les contacts directs de IP1X ou IPXXA.
- que les informations appropriées soient fournies avec l'équipement électrique (voir 17.2 b)9)et b)12)).

NOTE 2 L'appareil spécifique ou l'outil est destiné à n'être utilisé que par des personnes qualifiées ou averties (voir 17.2 b)12)).

Des dispositions doivent être fournies pour restreindre l'accès aux personnes qualifiées ou averties des parties actives derrière les portes non directement verrouillées avec des moyens de sectionnement. (Voir 17.2 b)12)).

Toutes les parties qui restent actives après la coupure du ou des appareils de sectionnement (voir 5.3.5) doivent être protégées contre les contacts directs avec un degré minimal de protection de IP2X ou IPXXB (voir la CEI 60529). Les parties ainsi protégées doivent porter une signal d'avertissement conforme à 16.2.1 (voir aussi 13.2.4 pour l'identification des conducteurs par la couleur).

Font exception à cette exigence pour le marquage:

- les parties ne pouvant être actives que par une liaison aux circuits de verrouillage et identifiées par la couleur comme potentiellement actives conformément à 13.2.4;
- les bornes d'alimentation de l'appareil de sectionnement de l'alimentation lorsque ce dernier est monté seul dans une enveloppe séparée.

- c) L'ouverture sans l'utilisation d'une clé ou d'un outil et sans le sectionnement des parties actives ne doit être possible que lorsque toutes les parties actives procurent un degré de protection minimal contre les contacts directs de IP2X ou IPXXB (voir la CEI 60529). Les barrières de protection assurant cette protection doivent soit nécessiter l'utilisation d'un outil pour leur démontage, soit entraîner automatiquement le sectionnement de toutes les parties actives qu'elles protègent lors de leur suppression.

NOTE 3 Lorsque la protection contre les contacts directs est réalisée conformément à 6.2.2 c) et qu'un danger peut être provoqué par une manœuvre manuelle des appareils (par exemple la fermeture manuelle des contacteurs ou des relais), il convient qu'une telle manœuvre soit empêchée par des barrières de protection ou des obstacles de protection nécessitant un outil pour leur démontage.

6.2.3 Protection par isolant des parties actives

Les parties actives protégées par isolant doivent être complètement recouvertes d'un isolant qui ne peut être enlevé que par destruction. Cet isolant doit présenter une résistance aux efforts mécaniques, chimiques, électriques et thermiques auxquels il peut être soumis dans les conditions de fonctionnement normal.

NOTE Les peintures, vernis, laques et produits similaires utilisés seuls ne sont en général pas considérés comme pouvant assurer une protection contre les chocs électriques dans les conditions de fonctionnement normal.

6.2.4 Protection contre les tensions résiduelles

Toute charge résiduelle supérieure à 60 V des parties actives doit être déchargée jusqu'à 60 V ou moins, en moins de 5 s après la coupure de l'alimentation, sous réserve que ce taux de décharge ne perturbe pas le bon fonctionnement de l'équipement. Cette exigence ne s'applique pas aux composants de capacité 60 μ C, ou moins. Si le taux de décharge spécifié devait perturber le bon fonctionnement de l'équipement, une plaque d'avertissement durable attirant l'attention sur le danger, et indiquant le délai à respecter avant d'essayer de pouvoir ouvrir l'enveloppe, doit être placée dans un endroit facilement visible ou à proximité immédiate de l'enveloppe contenant les capacités.

Dans le cas de fiches ou d'appareils similaires dont le retrait se traduit par l'exposition de parties conductrices (par exemple des broches), le temps de décharge ne doit pas dépasser 1 s, sinon ces parties conductrices doivent comporter une protection minimale contre les contacts directs de IP2X ou IPXXB. Si ni un temps de décharge de 1 s, ni un degré minimal de protection de IP2X ou IPXXB ne peut être obtenu (par exemple dans le cas de collecteurs démontables sur les câbles conducteurs, sur les barres conductrices ou sur les assemblages glissants, voir 12.7.4), des appareils de connexion supplémentaires ou un dispositif d'avertissement approprié (par exemple une note d'avertissement conformément à 16.1) doivent être mis en œuvre.

6.2.5 Protection par barrières

Pour la protection par barrières, 412.2 de la CEI 60364-4-41 doit s'appliquer.

6.2.6 Protection par mise hors de portée ou protection par mise en place d'obstacles

Pour la protection par mise hors de portée, 412.4 de la CEI 60364-4-41 doit s'appliquer. Pour la protection par obstacles, 412.3 de la CEI 60364-4-41 doit s'appliquer.

Pour les systèmes à câbles conducteurs ou à barres conductrices dont le degré de protection est inférieur à IP2X, voir 12.7.1.

6.3 Protection contre les contacts indirects

6.3.1 Généralités

La protection contre les contacts indirects (3.29) est destinée à empêcher les situations dangereuses dues à un défaut d'isolement entre les parties actives et les masses.

Pour chaque circuit ou partie de l'équipement électrique, au moins une des mesures définies de 6.3.2 à 6.3.3 doit être appliquée:

- des mesures pour empêcher l'apparition de tension de contact (6.3.2); ou
- la coupure automatique de l'alimentation avant que la durée de contact avec une tension de contact ne devienne dangereuse (6.3.3).

NOTE 1 Le risque des effets physiologiques dommageables liés à une tension de contact dépend de la valeur de la tension de contact et de la durée de l'exposition possible.

NOTE 2 Pour les classes de matériels et les spécifications de protection, voir la CEI 61140.

6.3.2 Prévention contre l'apparition d'une tension de contact

6.3.2.1 Généralités

Les mesures pour empêcher l'apparition d'une tension de contact comprennent les mesures suivantes:

- l'utilisation de matériels de classe II ou d'isolation équivalente;
- la séparation électrique.

6.3.2.2 Protection par l'emploi de matériels de classe II ou par isolation équivalente

Cette disposition est destinée à empêcher l'apparition de tensions de contact sur les parties accessibles en cas de défaut de l'isolation principale.

Cette protection est obtenue par un ou plusieurs des moyens suivants:

- des matériels ou appareils électriques de classe II (double isolation, isolation renforcée ou équivalente selon la CEI 61140);
- des ensemble d'appareillage possédant une isolation totale conforme à la CEI 60439-1;
- une isolation supplémentaire ou une isolation renforcée selon 413.2 de la CEI 60364-4-41.

6.3.2.3 Protection par séparation électrique

La séparation électrique d'un circuit individuel est destinée à empêcher des tensions de contact résultant d'un contact avec des masses pouvant être mises sous tension en cas de défaut de l'isolation principale des parties actives de ce circuit.

Pour ce type de protection, les exigences de 413.5 de la CEI 60364-4-41 s'appliquent.

6.3.3 Protection par coupure automatique de l'alimentation

Cette mesure consiste en la coupure de un ou plusieurs conducteurs de phase par la manœuvre automatique d'un appareil de protection en cas de défaut. Cette coupure doit se produire dans un délai suffisamment court afin de limiter la durée d'une tension de contact à une valeur telle que la tension de contact ne soit pas dangereuse. Les délais (temps) de coupure sont donnés en Annexe A.

Cette mesure nécessite une coordination entre:

- le type d'alimentation et le schéma de mise à la terre;
- les valeurs d'impédance des différents éléments du système de protection;
- les caractéristiques des appareils de protection qui détectent le(s) défaut(s) d'isolement.

La coupure automatique de l'alimentation d'un quelconque circuit touché par un défaut d'isolement est destinée à empêcher une situation dangereuse due à une tension de contact.

Cette mesure de protection comprend à la fois:

- la liaison de protection des masses (voir 8.2.3),
- et soit:
 - a) des dispositifs de protection contre les surintensités pour la coupure automatique de l'alimentation sur détection de défaut d'isolement dans les schémas TN, ou
 - b) des dispositifs différentiels résiduels pour initier la coupure automatique de l'alimentation sur détection d'un défaut d'isolement d'une partie active par rapport aux masses ou par rapport à la terre dans les schémas TT, ou
 - c) une surveillance de l'isolement ou des dispositifs différentiels résiduels pour initier la coupure automatique dans les schémas IT. Excepté lorsqu'un appareil de protection est fourni pour couper l'alimentation en cas de premier défaut à la terre, il faut fournir un appareil de surveillance de l'isolement afin d'indiquer l'apparition du premier défaut d'une partie active par rapport aux masses ou à la terre. Cet appareil de surveillance de l'isolement doit initier un signal sonore et/ou visuel qui doit se poursuivre aussi longtemps que le défaut persiste.

NOTE Dans les machines importantes, la mise en place d'un système de localisation des défauts peut faciliter la maintenance.

Lorsque la coupure automatique est prévue conformément à a), et que la coupure dans le délai spécifié à l'Article A.1 ne peut être assurée, on doit prévoir une liaison équipotentielle supplémentaire si nécessaire pour satisfaire aux exigences de l'Article A.3.

6.4 Protection par l'utilisation de la TBTP

6.4.1 Exigences générales

L'utilisation de la TBTP (Très Basse Tension de Protection) a pour but de protéger les personnes contre les chocs électriques en cas de contact indirect et de contact direct dans une zone limitée (voir 8.2.5).

Les circuits TBTP doivent satisfaire aux conditions suivantes:

- a) la tension nominale ne doit pas dépasser:
 - 25 V valeur efficace en courant alternatif ou 60 V en courant continu lisse si l'équipement est normalement utilisé dans des locaux secs et si de larges zones de parties actives ne sont pas susceptibles d'entrer en contact avec le corps humain; ou
 - 6 V valeur efficace en courant alternatif ou 15 V en courant continu lisse dans tous les autres cas;

NOTE Lisse est défini conventionnellement pour une tension d'ondulation sinusoïdale comme une composante d'ondulation inférieure à 10 %, valeur efficace.

- b) un côté du circuit ou un point de la source d'alimentation de ce circuit doit être raccordé au circuit de protection;
- c) les parties actives des circuits TBTP doivent être électriquement séparées des autres circuits actifs. La séparation électrique ne doit pas être inférieure à celle exigée entre le circuit primaire et le circuit secondaire d'un transformateur de sécurité (voir la CEI 61558-1 et la CEI 61558-2-6);
- d) les conducteurs de chaque circuit TBTP doivent être physiquement séparés des conducteurs des autres circuits. Si cette exigence ne peut être appliquée, les dispositions d'isolement de 13.1.3 doivent s'appliquer;
- e) les fiches et socles de prises de courant pour les circuits TBTP doivent satisfaire aux conditions suivantes:
 - 1) les fiches ne doivent pas pouvoir pénétrer dans les socles de prises de courant de tensions différentes;
 - 2) les socles de prises de courant ne doivent pas admettre des fiches de tensions différentes.

6.4.2 Sources pour TBTP

La source pour TBTP doit être l'une des suivantes:

- un transformateur de sécurité conforme à la CEI 61558-1 et à la CEI 61558-2-6;
- une source de courant assurant un degré de sécurité équivalent à celui d'un transformateur de sécurité (par exemple un moteur-générateur avec un enroulement présentant une isolation équivalente);
- une source électrochimique (par exemple une batterie) ou une autre source indépendante d'un circuit de tension plus élevée (par exemple un groupe diesel-générateur);
- une source d'alimentation électronique conforme aux normes appropriées spécifiant les mesures à prendre pour s'assurer que, même en cas de défaut interne, la tension aux bornes de sortie ne puisse être supérieure aux valeurs spécifiées en 6.4.1.

7 Protection de l'équipement

7.1 Généralités

Cet Article détaille les mesures à prendre pour protéger l'équipement contre les effets:

- des surintensités résultant d'un court-circuit;
- de la surcharge et/ou de la perte de réfrigérant moteur;
- des températures anormales;
- de la perte ou de la diminution de la tension d'alimentation;
- de la sur vitesse des machines/éléments de machine;
- des défauts à la terre/courants résiduels;
- d'une séquence de phases erronée;
- des surtensions dues à la foudre ou dues à des manœuvres de coupure.

7.2 Protection contre les surintensités

7.2.1 Généralités

Une protection contre les surintensités doit être prévue lorsque le courant dans un circuit de la machine peut dépasser soit la valeur assignée d'un composant, soit l'intensité admissible des conducteurs, la valeur la plus faible des deux étant retenue. Les caractéristiques assignées ou les réglages à choisir sont détaillés en 7.2.10.

7.2.2 Conducteurs d'alimentation

A moins qu'il en soit spécifié autrement par l'utilisateur, le fournisseur de l'équipement électrique n'est pas responsable de la fourniture du dispositif de protection contre les surintensités pour les conducteurs d'alimentation de l'équipement électrique (voir Annexe B).

Le fournisseur de l'équipement électrique doit indiquer sur le plan d'installation les renseignements nécessaires pour choisir ce dispositif de protection contre les surintensités (voir 7.2.10 et 17.4).

7.2.3 Circuits de puissance

Des dispositifs de détection et de coupure des surintensités, choisis conformément à 7.2.10, doivent être insérés dans chaque conducteur actif.

Les conducteurs suivants, pour autant qu'applicable, ne doivent pas être coupés sans que tous les conducteurs actifs associés le soient également:

- le conducteur neutre des circuits de puissance en courant alternatif;
- le conducteur mis à la terre des circuits de puissance en courant continu;
- les conducteurs de puissance en courant continu reliés aux masses des machines mobiles.

Si la section du conducteur neutre est au moins égale ou équivalente à celle des conducteurs de phase, il n'est pas nécessaire de prévoir une détection de surintensité ou un dispositif de coupure pour le conducteur neutre. Pour un conducteur neutre ayant une section inférieure à celle des conducteurs de phase associés, les mesures détaillées en 524 de la CEI 60364-5-52 doivent s'appliquer.

Dans les schémas IT, il est recommandé de ne pas utiliser le conducteur neutre. Cependant, si un tel conducteur neutre est utilisé, les dispositions détaillées en 431.2.2 de la CEI 60364-4-43 doivent s'appliquer.

7.2.4 Circuits de commande

Les conducteurs des circuits de commande reliés directement à la tension d'alimentation et les conducteurs des circuits alimentant des transformateurs de circuits de commande doivent être protégés contre les surintensités conformément à 7.2.3.

Les conducteurs des circuits de commande alimentés par l'intermédiaire d'un transformateur de circuit de commande ou alimentés en courant continu doivent être protégés contre les surintensités (voir aussi 9.4.3.1):

- pour les circuits de commande reliés au circuit de protection, par la mise en place d'un dispositif de protection contre les surintensités sur le conducteur coupé;
- pour les circuits de commande non reliés au circuit de protection;
 - si des conducteurs de section identique sont utilisés dans tous les circuits de commande, par la mise en place d'un dispositif de protection contre les surintensités sur le conducteur coupé, et
 - si des conducteurs de sections différentes sont utilisés dans les différents sous-circuits, par la mise en place d'un dispositif de protection contre les surintensités sur les conducteurs coupés et communs de chaque sous-circuit.

7.2.5 Socles de prises de courant et conducteurs associés

La protection contre les surintensités doit être fournie pour les circuits alimentant des socles de prises de courant destinés principalement à fournir la puissance aux matériels de maintenance. Des dispositifs de protection contre les surintensités doivent être prévus sur les conducteurs actifs non mis à la terre de chaque circuit alimentant de tels socles de prises de courant.

7.2.6 Circuits d'éclairage

Tous les conducteurs non mis à la terre des circuits alimentant l'éclairage doivent être protégés contre les effets des courts-circuits par des dispositifs de protection contre les surintensités indépendants de ceux protégeant les autres circuits.

7.2.7 Transformateurs

Les transformateurs doivent être protégés contre les surintensités conformément aux instructions du fabricant. Une telle protection doit (voir aussi 7.2.10):

- éviter le déclenchement intempestif dû aux courants d'appel magnétisants des transformateurs;
- éviter un échauffement des enroulements excédant la valeur permise pour la classe d'isolement du transformateur lorsqu'il est soumis aux effets d'un court-circuit à ses bornes secondaires.

Il convient que le type et le réglage du dispositif de protection contre les surintensités soient conformes aux recommandations du fournisseur du transformateur.

7.2.8 Emplacement des dispositifs de protection contre les surintensités

Les dispositifs de protection contre les surintensités doivent être situés à l'endroit où une réduction de la section des conducteurs ou une autre modification réduit le courant admissible dans les conducteurs, excepté lorsque toutes les conditions suivantes sont satisfaites:

- le courant admissible dans les conducteurs est au moins égal à celui de la charge;
- la longueur du conducteur entre le lieu de réduction du courant admissible et la position du dispositif de protection contre les surintensités n'excède pas 3 m;
- le conducteur est installé de façon à réduire la possibilité de court-circuit, par exemple, s'il est protégé par une enveloppe ou une canalisation.

7.2.9 Dispositifs de protection contre les surintensités

Le pouvoir de coupure assigné en court-circuit doit être au moins égal au courant de défaut présumé à ce point de l'installation. Si le courant de court-circuit apparaissant dans le dispositif de protection contre les surintensités inclut des courants autres que ceux de l'alimentation (par exemple de moteurs, de capacités de correction du facteur de puissance), ces courants doivent être pris en compte.

Un pouvoir de coupure inférieur est admis si un autre dispositif de protection (par exemple le dispositif de protection contre les surintensités des conducteurs d'alimentation, voir 7.2.2) ayant le pouvoir de coupure nécessaire est installé du côté de l'alimentation. Dans ce cas, les caractéristiques des deux dispositifs doivent être coordonnées de telle façon que l'énergie (I^2t) traversante de deux dispositifs en série n'excède pas celle qui peut être supportée sans dommage par le dispositif de protection contre les surintensités du côté de la charge et par les conducteurs protégés par ce dispositif (voir l'Annexe A de la CEI 60947-2).

NOTE L'utilisation de dispositifs de protection contre les surintensités coordonnés comme ci-dessus peut conduire au fonctionnement de ces deux dispositifs.

Si des fusibles sont utilisés en tant que dispositifs de protection contre les surintensités, un type aisément disponible dans le pays d'utilisation doit être choisi, ou des dispositions doivent être prises pour la fourniture de pièces détachées.

7.2.10 Calibrage et réglage des dispositifs de protection contre les surintensités

Le courant assigné des fusibles ou le réglage des autres dispositifs de protection contre les surintensités doit être choisi aussi faible que possible mais être adapté aux surintensités prévues (par exemple, le démarrage de moteurs ou la mise sous tension de transformateurs). Lors du choix de tels appareils de protection, il faut tenir compte de la protection des appareils de connexion contre les dommages dus aux surintensités (par exemple contre la soudure de leurs contacts).

Le courant assigné ou le réglage d'un dispositif de protection contre les surintensités est déterminé par le courant admissible dans les conducteurs à protéger conformément à 12.4, à l'Article D.2 et le temps de coupure maximal permis t selon l'Article D.3, en prenant en compte les besoins de coordination avec les autres appareils électriques dans le circuit protégé.

7.3 Protection des moteurs contre les échauffements anormaux

7.3.1 Généralités

La protection des moteurs contre les échauffements anormaux doit être assurée pour chaque moteur d'une puissance assignée supérieure à 0,5 kW.

Exceptions:

Pour des applications où une interruption automatique du fonctionnement du moteur n'est pas acceptable (par exemple les pompes à incendie), les moyens de détection doivent délivrer un signal d'avertissement auquel l'opérateur peut répondre.

La protection des moteurs contre les échauffements anormaux peut être réalisée par:

- une protection contre les surcharges (7.3.2),

NOTE 1 Les dispositifs de protection contre les surcharges détectent les relations temps/courant (I^2t) dans un circuit qui excèdent la charge totale assignée du circuit et initient les réponses appropriées de la commande.

- une protection contre les températures excessives (7.3.3), ou

NOTE 2 Les appareils de détection de température captent une température excessive et initient les réponses appropriées de la commande.

- une protection par limitation de courant (7.3.4).

La remise en marche automatique d'un moteur après le fonctionnement d'une protection contre les échauffements anormaux doit être empêchée si cela peut provoquer une situation dangereuse ou un dommage à la machine ou au travail en cours.

7.3.2 Protection contre les surcharges

Lorsque la protection contre les surcharges est utilisée, la détection de la (des) surcharge(s) doit être prévue dans chaque conducteur actif, à l'exception du conducteur neutre. Cependant, si la détection de surcharge d'un moteur n'est pas utilisée pour la protection contre les surcharges de câbles (voir aussi l'Article D.2), le nombre de dispositifs de détection de surcharge peut être réduit sur demande de l'utilisateur (voir aussi Annexe B). Pour des moteurs monophasés ou à alimentation à courant continu, la détection sur un seul conducteur actif non relié à la terre est admise.

Si la protection contre les surcharges est réalisée par coupure, l'appareil de connexion doit couper tous les conducteurs actifs. La coupure du conducteur neutre n'est pas nécessaire pour la protection contre les surcharges.

Lorsqu'il est demandé à des moteurs ayant des caractéristiques spéciales de service de démarrer ou freiner fréquemment (par exemple les moteurs pour l'avance ou le retour rapides, le verrouillage, le perçage sensitif), il peut être difficile de réaliser une protection contre les surcharges dont la constante de temps s'accorde avec celle de l'enroulement à protéger. Des appareils de protection appropriés conçus pour des moteurs à usage spécial ou une protection contre les températures excessives (voir 7.3.3) peuvent être nécessaires.

Pour des moteurs que l'on ne peut pas surcharger (par exemple les moteurs couple, les commandes de mouvement qui sont soit protégées par des dispositifs mécaniques de protection contre les surcharges, soit correctement dimensionnées), il n'est pas exigé de protection contre les surcharges.

7.3.3 Protection contre les températures excessives

La fourniture de moteurs avec protection contre les températures excessives (voir la CEI 60034-11) est recommandée dans les cas où le refroidissement peut être altéré (par exemple dans des environnements poussiéreux). Selon le type de moteur, la protection contre un blocage du rotor ou une perte de phase n'est pas toujours assurée par une protection contre les températures excessives, il convient alors de prévoir une protection complémentaire.

Une protection contre les températures excessives est aussi recommandée dans le cas des moteurs que l'on ne peut pas surcharger (par exemple les moteurs couple, les commandes de mouvement qui sont soit protégées par des dispositifs mécaniques de protection contre les surcharges, soit correctement dimensionnées), lorsque la possibilité de températures excessives existe (par exemple en raison d'un refroidissement plus faible).

7.3.4 Protection par limitation de courant

Dans le cas des moteurs triphasés dont la protection contre les échauffements anormaux est assurée par limitation de courant, le nombre de dispositifs de limitation de courant peut être réduit de 3 à 2 (voir 7.3.2). Pour les moteurs monophasés alimentés en courant alternatif ou les moteurs alimentés en courant continu, la limitation de courant dans un seul conducteur actif non relié à la terre est admise.

7.4 Protection contre les températures anormales

Le chauffage par résistance ou les autres circuits qui peuvent atteindre ou entraîner des températures anormales (par exemple en raison d'un calibrage pour un fonctionnement court ou de perte de liquide de refroidissement) et donc engendrer des situations dangereuses doivent être munis d'un dispositif de détection adapté pour provoquer une réponse appropriée de la commande.

7.5 Protection contre l'interruption ou la baisse de la tension d'alimentation et son rétablissement ultérieur

Lorsqu'une interruption d'alimentation ou une chute de tension peut entraîner une situation dangereuse, des dommages à la machine ou aux travaux en cours, une protection contre la baisse de tension doit être prévue, par exemple, par mise hors tension de la machine dès qu'un niveau prédéterminé de tension est atteint.

Si le fonctionnement de la machine accepte une interruption ou une réduction de la tension pendant une courte période de temps, une protection temporisée contre une baisse de tension peut être prévue. Le fonctionnement du dispositif de protection à minimum de tension ne doit compromettre le fonctionnement d'aucune commande d'arrêt de la machine.

Lors du rétablissement de la tension ou de la fermeture de l'interrupteur d'alimentation, le redémarrage automatique ou intempestif de la machine doit être empêché si ce redémarrage peut entraîner une situation dangereuse.

Dans le cas d'une réduction de tension ou d'une interruption d'alimentation affectant seulement une partie de la machine, ou du groupe de machines fonctionnant ensemble de manière coordonnée, la protection contre une baisse de tension doit initier les réponses appropriées des commandes pour assurer la coordination.

7.6 Protection contre la survitesse des moteurs

Une protection contre la survitesse doit être prévue dans le cas où une survitesse peut provoquer une situation dangereuse en tenant compte des mesures conformes à 9.3.2. La protection contre la survitesse doit initier les réactions appropriées de la commande et interdire un redémarrage automatique.

Il convient que la protection contre la survitesse fonctionne de façon telle que la limite de vitesse mécanique du moteur ou de sa charge ne soit pas dépassée.

NOTE Cette protection peut consister, par exemple, en un dispositif centrifuge ou un limiteur de vitesse.

7.7 Protection contre les défauts à la terre et les courants résiduels

En complément à la protection contre les surintensités pour la coupure automatique telle que décrite en 6.3, la protection contre les défauts à la terre et les courants résiduels peut aussi être prévue pour réduire les dommages à l'équipement dus à des courants de défaut inférieurs au niveau de détection de la protection contre les surintensités.

Le réglage des dispositifs de protection doit être aussi bas que possible en cohérence avec un fonctionnement correct de l'équipement.

7.8 Protection de l'ordre des phases

Si un ordre erroné des phases de l'alimentation peut entraîner une situation dangereuse ou des dommages à la machine, une protection doit être prévue.

NOTE Les conditions d'utilisation pouvant mener à un ordre de phases erroné comprennent:

- une machine transférée d'une source à une autre;
- une machine mobile équipée pour le raccordement à une alimentation externe.

7.9 Protection contre les surtensions d'origine atmosphérique ou surtensions de manœuvre

Des appareils de protection peuvent être prévus pour la protection contre les effets des surtensions d'origine atmosphérique ou de manœuvre.

Si c'est le cas:

- les dispositifs de limitation des surtensions atmosphériques doivent être connectés aux bornes d'alimentation de l'appareil de sectionnement de l'alimentation.
- les dispositifs de limitation des surtensions de manœuvre doivent être connectés entre les bornes de tout équipement nécessitant une telle protection.

8 Liaisons équipotentielles

8.1 Généralités

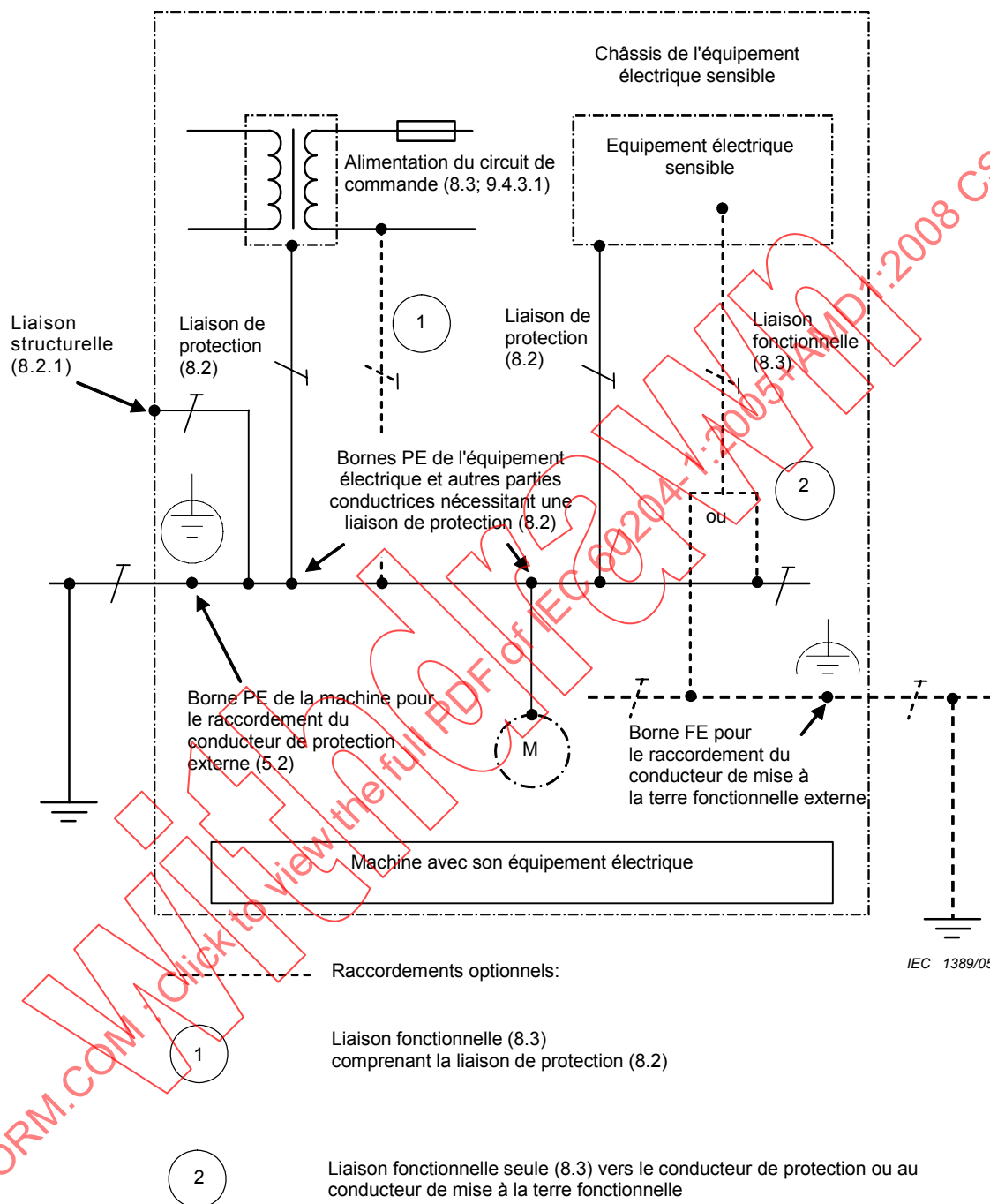
Cet Article fournit les exigences relatives aux liaisons de protection et aux liaisons fonctionnelles. La Figure 2 illustre ces concepts.

La liaison de protection est une disposition de base pour la protection en cas de défaut afin d'assurer la protection des personnes contre les chocs électriques par contact indirect (voir 6.3.3 et 8.2).

L'objectif de la liaison fonctionnelle (voir 8.3) est de minimiser:

- la conséquence d'un défaut d'isolement qui pourrait nuire au fonctionnement de la machine;
- les conséquences des perturbations électriques pour les équipements électriques sensibles qui pourraient nuire au fonctionnement de la machine.

La liaison fonctionnelle est normalement assurée par le raccordement au circuit de protection, mais, si le niveau des perturbations électriques sur le circuit de protection n'est pas suffisamment faible pour assurer un fonctionnement correct de l'équipement électrique, il peut être nécessaire de raccorder le circuit de protection à un conducteur de mise à la terre fonctionnelle séparé (voir Figure 2).



NOTE Le conducteur de mise à la terre fonctionnelle était auparavant référencé en tant que "conducteur de terre sans bruit" et la borne "FE" était auparavant désignée par "TE" (voir CEI 60445).

Figure 2 – Exemple de liaisons équipotentielles pour l'équipement électrique d'une machine

8.2 Circuit de protection

8.2.1 Généralités

Le circuit de protection comprend:

- la(les) borne(s) PE (voir 5.2);
- les conducteurs de protection dans l'équipement de la machine, y compris les contacts glissants s'ils font partie du circuit.
- les masses et les parties conductrices structurelles de l'équipement électrique;
- les éléments conducteurs étrangers qui forment la structure de la machine.

Toutes les parties du circuit de protection doivent être conçues pour être capables de résister aux contraintes thermiques et mécaniques les plus importantes pouvant être provoquées par des courants de défaut à la terre susceptibles de circuler dans ces parties du circuit de protection.

Lorsque la conductance des parties structurelles de l'équipement électrique ou de la machine est inférieure à celle du plus petit conducteur de protection raccordé aux masses, il faut fournir un conducteur de liaison supplémentaire. Ce conducteur de liaison supplémentaire doit avoir une section non inférieure à la moitié de celle du conducteur de protection correspondant.

En schéma IT, la structure de la machine doit faire partie du circuit de protection et doit être associée à une surveillance de l'isolement. Voir 6.3.3 c)

Il n'est pas nécessaire de raccorder les parties conductrices structurelles de l'équipement selon 6.3.2.2 au circuit de protection. Il n'est pas nécessaire de raccorder les éléments conducteurs étrangers qui constituent la structure de la machine au circuit de protection si tout l'équipement fourni est conforme à 6.3.2.2.

Les masses de l'équipement selon 6.3.2.3 ne doivent pas être raccordées au circuit de protection.

8.2.2 Conducteurs de protection

Les conducteurs de protection doivent être identifiés conformément à 13.2.2.

Les conducteurs en cuivre sont préférés. Dans le cas d'utilisation de matériau conducteur autre que le cuivre, la résistance électrique par unité de longueur ne doit pas dépasser la valeur admise pour un conducteur en cuivre et la section de tels conducteurs ne doit pas être inférieure à 16 mm².

La section des conducteurs de protection doit être déterminée en accord avec les exigences de:

- 543 de la CEI 60364-5-54; ou
- 7.4.3.1.7 de la CEI 60439-1, selon les cas.

Cette exigence est satisfaite dans la plupart des cas si les sections des conducteurs de phases associés à une partie de l'équipement et celle du conducteur de protection associé sont conformes au Tableau 1 (voir 5.2).

Voir aussi 8.2.8.

8.2.3 Continuité du circuit de protection

Toutes les masses doivent être raccordées au circuit de protection selon 8.2.1.

Exception: voir 8.2.5.

Si un élément est retiré quelle que soit la raison (par exemple un entretien de routine), le circuit de protection pour les éléments restants ne doit pas être coupé.

Les points de raccordement et de liaison doivent être conçus de façon que leurs courants admissibles ne soient pas diminués par des influences mécaniques, chimiques ou électrochimiques. Lors de l'utilisation d'enveloppes et de conducteurs en aluminium ou alliage d'aluminium, il convient de porter une attention particulière à une éventuelle corrosion électrolytique.

Les conduits métalliques, flexibles ou rigides, et les gaines de câbles métalliques ne doivent pas être utilisés comme conducteurs de protection. Néanmoins, de tels conduits métalliques ainsi que la gaine métallique de tous les câbles de connexion (par exemple un blindage de câble, une gaine en plomb) doivent être raccordés au circuit de protection.

Si l'équipement électrique est monté sur des couvercles, des portes, des plaques de fermeture, la continuité du circuit de protection doit être assurée et un conducteur de protection est recommandé (voir 8.2.2). Sinon, des systèmes de fermeture, des charnières ou des contacts glissants conçus pour présenter une faible résistance doivent être utilisés (voir 18.2.2, Essai 1).

La continuité du conducteur de protection au sein de câbles susceptibles d'être endommagés (par exemple les câbles souples rampants) doit être assurée par des mesures appropriées (par exemple la surveillance).

Pour les exigences relatives à la continuité du conducteur de protection utilisant des câbles conducteurs, des barres conductrices et des assemblages glissants, voir 12.7.2.

8.2.4 Exclusion des appareils de coupure du circuit de protection

Le circuit de protection ne doit comprendre ni appareil de connexion, ni dispositif de protection contre les surintensités (par exemple un interrupteur, un fusible).

Aucun moyen de coupure ne doit être prévu sur le circuit de protection.

Exception: les liaisons pour les besoins des essais ou mesures ne pouvant être ouvertes sans l'usage d'un outil et situées dans une zone fermée de service électrique.

Lorsque la continuité du circuit de protection peut être interrompue par des collecteurs mobiles de courant ou des ensembles fiche-prise, le circuit de protection doit être interrompu par un contact premier fermé dernier ouvert. Cela concerne aussi les éléments démontables ou débrochables (voir aussi 13.4.5).

8.2.5 Parties dont le raccordement au circuit de protection n'est pas nécessaire

Il n'est pas nécessaire de raccorder les masses au circuit de protection si, par leur montage, celles-ci ne présentent pas de danger du fait:

- qu'elles ne peuvent pas être touchées sur de larges surfaces ou saisies par la main et qu'elles sont de faibles dimensions (moins de 50 mm × 50 mm environ); ou
- qu'elles sont placées de telle façon qu'un contact avec des parties actives ou un défaut d'isolement soit improbable.

Cela s'applique aux petites parties telles que vis, rivets, plaques signalétiques et aux parties situées à l'intérieur d'une enveloppe quelles que soient leurs dimensions (par exemple les électroaimants de contacteurs ou de relais, les parties mécaniques des appareils) (voir aussi 410.3.3.5 de la CEI 60364-4-41).

8.2.6 Points de raccordement du conducteur de protection

Tous les conducteurs de protection doivent être raccordés conformément à 13.1.1. Les points de raccordement du conducteur de protection ne doivent pas avoir d'autre fonction et ne sont pas destinés, par exemple, à la fixation ou au raccordement d'appareils ou d'éléments.

Chaque point de raccordement du conducteur de protection doit être marqué ou étiqueté comme tel par le symbole CEI 60417-5019 (DB:2002-10):



soit par les lettres **PE**, le symbole graphique étant préféré ou par la combinaison bicolore VERT-ET-JAUNE, ou par toute combinaison des moyens précités.

8.2.7 Machines mobiles

Pour les machines mobiles disposant d'alimentations de puissance embarquées, les conducteurs de protection, les parties conductrices structurelles de l'équipement électrique ainsi que les éléments conducteurs étrangers formant la structure de la machine doivent être tous raccordés à une borne du circuit de protection afin d'assurer la protection contre les chocs électriques. Si une machine mobile peut aussi être raccordée à une alimentation extérieure, la borne du circuit de protection doit être le point de connexion du conducteur de protection externe.

NOTE Si l'alimentation électrique est incorporée dans les parties fixes, mobiles ou portatives de l'équipement, et s'il n'existe pas de source extérieure d'alimentation (par exemple dans le cas d'un chargeur de batteries embarqué non raccordé), il n'est pas nécessaire de raccorder un tel équipement à un conducteur de protection externe.

8.2.8 Exigences supplémentaires de liaison de protection pour équipement électrique dont les courants de fuite à la terre sont supérieurs à 10 mA en courant alternatif ou en courant continu

NOTE 1 Le courant de fuite à la terre est défini ainsi: "courant qui s'écoule des parties actives à la terre, en l'absence de tout défaut d'isolement" (VEI 442-01-24). Ce courant peut avoir une composante capacitive y compris celle résultant de l'utilisation délibérée de capacités.

NOTE 2 Le courant de fuite à la terre de la plupart des entraînements électriques de puissance à vitesse variable conformes aux parties appropriées de la CEI 61800 sera supérieur à 3,5 mA en courant alternatif. Le courant de fuite à la terre d'un entraînement électrique de puissance à vitesse variable est déterminé par une méthode de mesure de courant de contact spécifiée comme essai de type dans la CEI 61800-5-1.

Si l'équipement électrique a un courant de fuite à la terre (par exemple dans les cas des entraînements électriques de puissance à vitesse variable et des matériels de traitement de l'information) supérieur à 10 mA en courant alternatif ou en courant continu sur l'une quelconque des alimentations, une ou plusieurs des conditions suivantes sur le circuit de protection associé doivent être satisfaites:

- le conducteur de protection doit avoir une section au moins égale à 10 mm² Cu ou 16 mm² Al, sur tout son cheminement;
- si le conducteur de protection a une section inférieure à 10 mm² Cu ou 16 mm² Al, un second conducteur de protection de section au moins égale doit être amené jusqu'au point où le conducteur de protection a une section non inférieure à 10 mm² Cu ou 16 mm² Al.

NOTE 3 Ceci peut nécessiter que l'équipement électrique dispose d'une borne séparée pour un second conducteur de protection.

- une coupure automatique de l'alimentation en cas de perte de continuité du conducteur de protection.

Afin de supprimer les difficultés associées aux perturbations électromagnétiques, les exigences de 4.4.2 s'appliquent aussi à l'installation de conducteurs de protection en double.

De plus, une étiquette d'avertissement doit être prévue à côté de la borne PE et si nécessaire sur la plaque signalétique de l'équipement électrique. Les informations fournies en 17.2 b)1) doivent comprendre les informations sur le courant de fuite et la section minimale du conducteur de protection externe.

8.3 Liaisons fonctionnelles

La protection contre un fonctionnement impropre, conséquence de défauts d'isolement, peut être assurée par le raccordement à un conducteur commun conforme à 9.4.3.1.

Pour les recommandations concernant les liaisons fonctionnelles afin d'éviter un fonctionnement impropre de la machine dû à des perturbations électromagnétiques, voir 4.4.2.

8.4 Mesures pour limiter les effets d'un courant de fuite élevé

Les effets d'un courant de fuite élevé peuvent être limités à l'équipement sujet à ce courant de fuite élevé par raccordement de cet équipement à un transformateur d'alimentation dédié disposant d'enroulements séparés. Le circuit de protection doit être raccordé aux masses de l'équipement ainsi qu'à l'enroulement secondaire du transformateur. Le(les) conducteur(s) de protection entre l'équipement et l'enroulement secondaire du transformateur doivent être conformes à une ou plusieurs des dispositions décrites en 8.2.8.

9 Circuits de commande et fonctions de commande

9.1 Circuits de commande

9.1.1 Alimentation du circuit de commande

Si les circuits de commande sont alimentés par une source alternative, on doit utiliser des transformateurs de commande pour alimenter les circuits de commande. De tels transformateurs doivent être à enroulements séparés. Si plusieurs transformateurs sont utilisés, il est recommandé de raccorder leurs enroulements de manière que les tensions secondaires soient en phase.

Quand les circuits de commande en courant continu dérivé d'une source alternative sont raccordés au circuit de protection (voir 8.2.1), ils doivent être alimentés par un enroulement séparé du transformateur du circuit de commande en courant alternatif ou par un autre transformateur de circuit de commande.

NOTE Les unités à mode de commutation équipées de transformateurs disposant d'enroulements séparés conformes à la CEI 61558-2-17 satisfont à cette exigence.

Les transformateurs ne sont pas obligatoires pour les machines munies d'un seul démarreur de moteur et/ou au maximum de deux appareils de commande (par exemple un dispositif de verrouillage, un boîtier de commande marche/arrêt).

9.1.2 Tensions du circuit de commande

La valeur nominale de la tension de commande doit être compatible avec un fonctionnement correct du circuit de commande. La tension nominale ne doit pas dépasser 277 V lorsqu'elle est fournie par un transformateur.

9.1.3 Protection

Les circuits de commande doivent être fournis avec une protection contre les surintensités conformément à 7.2.4 et 7.2.10.

9.2 Fonctions de commande

NOTE 1 L'information concernant les aspects relatifs à la sécurité des fonctions de commande est donnée dans l'ISO 13849-1, l'ISO 13849-2 et dans la CEI 62061.

NOTE 2 Ce Paragraphe ne spécifie pas les exigences pour l'équipement utilisé pour réaliser des fonctions de commande. Des exemples de telles exigences sont donnés dans l'Article 10.

9.2.1 Fonctions marche

Les fonctions marche doivent agir par mise sous tension du circuit correspondant (9.2.5.2).

9.2.2 Fonctions arrêt

Il existe trois catégories de fonctions d'arrêt:

- arrêt de catégorie 0: arrêt par suppression immédiate de l'alimentation aux actionneurs (c'est-à-dire, un arrêt non contrôlé – voir 3.56);
- arrêt de catégorie 1: arrêt contrôlé (voir 3.11) en maintenant l'alimentation aux actionneurs jusqu'à l'arrêt de la machine, puis coupure de la puissance quand l'arrêt est obtenu;
- arrêt de catégorie 2: arrêt contrôlé en maintenant l'alimentation aux actionneurs.

9.2.3 Modes de marche

Chaque machine peut avoir un ou plusieurs modes de marche qui sont déterminés par le type de machine et son application. Si la sélection d'un mode de marche peut entraîner une situation dangereuse, la sélection d'un mode marche non autorisée et/ou intempestive doit être évitée par un dispositif approprié (par exemple un commutateur à clef, un code d'accès).

La sélection d'un mode de marche ne doit pas par elle-même provoquer la mise en marche de la machine. Une manœuvre séparée de la commande de marche doit être exigée.

Les fonctions de sécurité appropriées et/ou les mesures de protection pour chaque mode de fonctionnement particulier doivent être effectives.

L'indication du mode de marche choisi doit être prévue (par exemple la position du sélecteur de mode, la mise en place d'un voyant lumineux, l'indication visuelle sur un écran).

9.2.4 Neutralisation provisoire des fonctions de sécurité et/ou des mesures de protection

Quand il est nécessaire de neutraliser provisoirement des fonctions de sécurité et/ou des mesures de protection (par exemple à des fins de réglage ou de maintenance), la protection doit être assurée par:

- la désactivation de tous les autres modes de fonctionnement (commande); et
- d'autres moyens appropriés (voir 4.11.9 de l'ISO 12100-2:2003), qui peuvent comprendre par exemple un ou plusieurs des moyens suivants:
 - la mise en marche du mouvement par un appareil de commande nécessitant une action maintenue ou par un appareil de commande similaire;
 - un pupitre de commande portable comportant un appareil d'arrêt d'urgence et si approprié, un dispositif de validation. Quand un pupitre de commande portable est utilisé, la mise en marche d'un mouvement ne doit être possible qu'à partir de ce pupitre de commande;

- un poste de commande sans fil comportant un appareil pour initier les fonctions d'arrêt conformes à 9.2.7.3 et si approprié, un dispositif de validation. Quand un poste de commande sans fil est utilisé, la mise en marche d'un mouvement ne doit être possible qu'à partir de ce poste de commande;
- la limitation de vitesse ou de puissance du mouvement;
- la limitation de l'amplitude du mouvement.

9.2.5 Fonctionnement

9.2.5.1 Généralités

Les fonctions de sécurité et/ou les mesures de protection nécessaires (par exemple les verrouillages (voir 9.3)) doivent être prévues pour un fonctionnement sûr.

Des dispositions doivent être prises pour empêcher tout démarrage fortuit ou intempestif après tout arrêt de la machine (par exemple en cas de déverrouillage, de défaut d'alimentation, de remplacement de batterie, de perte de signal pour une commande sans fil).

Dans le cas d'une machine disposant de plus d'un pupitre de commande, des dispositions doivent être prises afin d'assurer que l'initiation d'un ordre à partir de n'importe quel pupitre de commande ne conduit pas à une situation dangereuse.

9.2.5.2 Marche

Le démarrage ne doit être possible que si toutes les fonctions de sécurité et/ou les mesures de protection appropriées sont en place et opérationnelles, excepté dans les conditions décrites en 9.2.4.

Pour les machines (par exemple les machines mobiles) dont les fonctions de sécurité et/ou les mesures de protection ne peuvent pas être utilisées pour certains fonctionnements, la commande manuelle de tels fonctionnements doit être effectuée par des commandes à action maintenue associées à des dispositifs de validation, selon ce qui est approprié.

Des verrouillages appropriés doivent être prévus pour assurer une séquence de démarrage correcte.

Dans le cas de machines nécessitant l'utilisation de plusieurs postes de commande pour initialiser un démarrage, chacun de ces postes de commande doit avoir un appareil de commande de mise en marche séparé et actionné manuellement. Les conditions pour provoquer une mise en marche doivent être:

- toutes les conditions requises pour le fonctionnement de la machine doivent être satisfaites, et
- tous les appareils de commande de marche doivent être en position «relâchée», ensuite
- tous les appareils de commande de marche doivent être manœuvrés de façon concomitante (voir 3.6).

9.2.5.3 Arrêt

Des fonctions d'arrêt de catégorie 0 et/ou arrêt de catégorie 1 et/ou arrêt de catégorie 2 doivent être prévues comme indiqué par l'appréciation du risque et par les exigences fonctionnelles pour la machine (voir 4.1).

NOTE L'appareil de sectionnement de l'alimentation (voir 5.3), lorsqu'il est manœuvré, réalise un arrêt de catégorie 0.

Les fonctions d'arrêt doivent être prioritaires sur les fonctions associées de marche (voir 9.2.5.2).

Sur demande, des moyens de raccordement des appareils de protection et de verrouillage doivent être prévus. Si un tel appareil de protection ou de verrouillage est à l'origine d'un arrêt de la machine, il peut être nécessaire que cette condition soit signalée à la partie logique du système de commande. Le réarmement de la fonction d'arrêt ne doit pas générer de situation dangereuse.

Lorsque plus d'un pupitre de commande est fourni, les ordres d'arrêt de chaque pupitre de commande doivent être effectifs lorsque l'appréciation du risque de la machine l'exige.

9.2.5.4 Manœuvres d'urgence (arrêt d'urgence, coupure d'urgence)

9.2.5.4.1 Généralités

La présente partie de la CEI 60204 spécifie les exigences relatives à la fonction d'arrêt d'urgence et à la fonction coupure d'urgence pour les manœuvres d'urgence indiquées dans l'Annexe E, ces deux manœuvres étant initiées, dans la présente partie de la CEI 60204, par une seule action humaine.

Une fois que la manœuvre active d'un organe de commande d'un arrêt d'urgence (voir 10.7) ou de coupure d'urgence (voir 10.8) a cessé à la suite d'un ordre, l'effet de cet ordre doit être maintenu jusqu'à ce qu'il soit réinitialisé. Cette réinitialisation ne doit être possible que par une action manuelle à l'endroit où l'ordre a été initié. La réinitialisation de cet ordre ne doit pas redémarrer la machine mais seulement autoriser le redémarrage.

Il ne doit pas être possible de redémarrer la machine tant que tous les ordres d'arrêt d'urgence n'ont pas été réinitialisés. Il ne doit pas être possible de réalimenter la machine tant que tous les ordres de coupure d'urgence n'ont pas été réinitialisés.

NOTE 1 L'arrêt d'urgence et la coupure d'urgence sont des mesures de protection complémentaires et ne sont pas considérés comme des dispositifs principaux de réduction du risque pour les dangers (par exemple le piégeage, l'enchevêtrement, le choc électrique ou la brûlure) sur une machine (voir l'ISO 12100 (toutes les parties)).

NOTE 2 Les principes de conception du matériel d'arrêt d'urgence, y compris les aspects fonctionnels, sont donnés dans l'ISO 13850.

9.2.5.4.2 Arrêt d'urgence

L'arrêt d'urgence doit fonctionner soit comme un arrêt de catégorie 0 soit comme un arrêt de catégorie 1 (voir 9.2.2). Le choix de la catégorie d'arrêt de l'arrêt d'urgence dépend des résultats de l'appréciation du risque de la machine.

Outre les exigences pour un arrêt (voir 9.2.5.3), la fonction d'arrêt d'urgence est soumise aux exigences suivantes:

- elle doit être prioritaire par rapport à toutes les autres fonctions et commandes dans tous les modes;
- l'énergie sur les actionneurs pouvant provoquer une(des) situation(s) dangereuse(s) doit être soit supprimée immédiatement (arrêt de catégorie 0) soit commandée de façon à arrêter le mouvement dangereux aussi rapidement que possible (arrêt de catégorie 1) sans créer d'autres dangers;
- le réarmement ne doit pas provoquer un redémarrage.

9.2.5.4.3 Coupure d'urgence

Les aspects fonctionnels de la coupure d'urgence sont donnés en 536.4 de la CEI 60364-5-53.

Il convient de fournir une coupure d'urgence dans les cas où:

- la protection contre les contacts directs (par exemple avec des câbles conducteurs, des barres conductrices, des assemblages glissants, de l'appareillage de commande dans des zones de service électrique) est seulement réalisée par mise hors de portée, ou par obstacle (voir 6.2.6); ou
- d'autres dangers ou dommages dus à l'électricité peuvent se produire.

La coupure d'urgence est réalisée par la coupure de l'alimentation appropriée de la machine au moyen d'appareils de connexion électromécaniques, réalisant un arrêt de catégorie 0 des actionneurs raccordés à cette alimentation. Si une machine ne peut supporter un arrêt de catégorie 0, il peut être nécessaire de prévoir d'autres mesures, par exemple une protection contre les contacts directs de manière que cette coupure d'urgence ne soit pas nécessaire.

9.2.5.5 Surveillance de l'action des commandes

Tout mouvement ou action d'une machine ou d'une partie de machine qui peut entraîner une situation dangereuse doit être surveillé, par exemple par des limiteurs de course, la détection de la survitesse des moteurs, la détection de la surcharge mécanique ou des appareils d'anti-collision.

NOTE Sur certaines machines à commande manuelle, les opérateurs assurent la surveillance.

9.2.6 Autres fonctions de commande

9.2.6.1 Commandes nécessitant une action maintenue

Les commandes nécessitant une action maintenue doivent nécessiter une action continue sur le(les) appareil(s) de commande pour être effective.

NOTE Une commande nécessitant une action maintenue peut être réalisée par des dispositifs de commande bimanuelle.

9.2.6.2 Commandes bimanuelles

Trois types de commandes bimanuelles sont définies dans l'ISO 13851, leur choix dépendant de l'appréciation du risque. Elles doivent comporter les caractéristiques suivantes:

Type I: ce type nécessite que:

- deux appareils de commande soient prévus et que leur manœuvre soit concomitante par les deux mains;
- la manœuvre soit concomitante et continue pendant une situation dangereuse;
- le fonctionnement de la machine doit s'interrompre dès que l'un des deux appareils de commande est relâché alors que la situation dangereuse est encore présente.

Un appareil de commande bimanuelle de Type I n'est pas considéré comme étant adapté pour le démarrage d'une opération dangereuse.

Type II: Une commande de Type I nécessitant le relâchement des deux appareils de commande avant que le redémarrage de la machine puisse être réinitialisé.

Type III: Une commande de Type II nécessitant une action concomitante des appareils de commande dans les conditions suivantes:

- il doit être nécessaire de manœuvrer les appareils de commande dans un intervalle de temps limité ne dépassant pas 0,5 s;
- si cette limite de temps est dépassée, les appareils de commande doivent tous être relâchés avant que le fonctionnement de la machine puisse être initialisé.

9.2.6.3 Dispositif de commande de validation

Un dispositif de commande de validation (voir aussi 10.9) est un verrouillage de fonction de commande manœuvré manuellement qui:

- a) lorsqu'il est activé, autorise le démarrage du fonctionnement d'une machine par une commande de démarrage séparée, et

b) Lorsqu'il est désactivé

- initie une fonction d'arrêt, et
- empêche le démarrage du fonctionnement de la machine.

Un dispositif de commande de validation doit être disposé de façon à minimiser la possibilité de neutralisation, par exemple, en exigeant la désactivation du dispositif de commande de validation avant que le fonctionnement de la machine puisse être réinitialisé. Il est recommandé que la fonction de validation ne puisse pas être neutralisée par des moyens simples.

9.2.6.4 Commandes marche-arrêt combinées

Les boutons-poussoirs et appareils de commande analogues, qui alternativement démarrent et arrêtent un mouvement lorsqu'ils sont actionnés, ne doivent être prévus que pour des fonctions ne produisant pas de situation dangereuse.

9.2.7 Commande sans fil

9.2.7.1 Généralités

Ce Paragraphe traite des exigences fonctionnelles pour les systèmes de commande utilisant des techniques sans fil (par exemple les commandes radio, infrarouge) pour la transmission d'ordres et de signaux entre un système de commande de machine et un(des) pupitre(s) de commande opérateur.

NOTE Certaines considérations sur les applications et sur le système peuvent aussi s'appliquer aux fonctions de commande utilisant des techniques de transmission série avec liaison par câble (par exemple un câble coaxial, une paire torsadée, une fibre optique).

Des moyens doivent être prévus pour débrancher facilement ou couper l'alimentation électrique du poste de commande opérateur (voir aussi 9.2.7.3).

Des moyens (par exemple un interrupteur à clé, un code d'accès) doivent être prévus, si nécessaire, pour empêcher un usage non autorisé du poste de commande opérateur.

Chaque poste de commande opérateur doit indiquer de manière non ambiguë quelle(s) est (sont) la(les) machine(s) destinée(s) à être commandée(s) par ce poste de commande.

9.2.7.2 Limitation de la commande

Des mesures doivent être prises pour s'assurer que les ordres de commande affectent:

- uniquement la machine concernée;
- uniquement les fonctions concernées.

Des mesures doivent être prises pour empêcher que la machine ne réponde à des signaux autres que ceux du(des) poste(s) de commande opérateur prévu(s).

Si nécessaire, des moyens doivent être prévus pour que la machine ne puisse être commandée qu'à partir de postes de commande opérateur situés dans une ou plusieurs zones ou emplacements prédéterminés.

9.2.7.3 Arrêt

Les postes de commande opérateur doivent comporter un moyen séparé et aisément identifiable pour initier la fonction arrêt de la machine ou de tous les fonctionnements pouvant entraîner des situations dangereuses. L'organe de commande de la fonction arrêt ne doit pas être marqué ou étiqueté comme un arrêt d'urgence même si la fonction d'arrêt initiée sur la machine peut participer à une fonction d'arrêt d'urgence.

Une machine équipée de commande sans fil doit disposer de moyens pour initier automatiquement l'arrêt de la machine et pour empêcher les fonctionnements potentiellement dangereux, dans les situations suivantes:

- lors de la réception d'un signal d'arrêt;
- lorsqu'un défaut est détecté dans le système de commande sans fil;
- quand un signal de validation (qui comprend un signal signifiant que cette communication est établie et maintenue) n'a pas été détecté pendant un délai spécifié (voir aussi Annexe B), à l'exception des machines exécutant des tâches préprogrammées hors du domaine de la commande sans fil lorsqu'aucune situation dangereuse ne peut apparaître.

9.2.7.4 Utilisation de plus d'un poste de commande opérateur

Si une machine dispose de plus d'un poste de commande opérateur, y compris un ou plusieurs postes de commande sans fil, des mesures doivent être prises pour s'assurer qu'un seul des postes de commande peut être validé à un instant donné. L'indication du poste de commande opérateur en service doit être prévue à des emplacements appropriés en fonction de l'appréciation du risque.

Exception: un ordre d'arrêt doit être effectif à partir de n'importe quel poste de commande si l'appréciation du risque de la machine l'exige.

9.2.7.5 Postes de commande opérateur alimentés par accumulateurs

Une variation de la tension des accumulateurs d'alimentation ne doit pas conduire à une situation dangereuse. Si un ou plusieurs mouvements potentiellement dangereux sont commandés par un poste de commande opérateur sans fil alimenté par accumulateurs, une indication claire doit avertir l'opérateur lorsque la tension des accumulateurs est en dehors des limites spécifiées. Dans ce cas, le poste de commande opérateur sans fil doit rester opérationnel suffisamment longtemps pour mettre la machine dans une situation non dangereuse.

9.3 Verrouillages de protection

9.3.1 Refermeture ou réarmement d'un moyen de protection avec dispositif de verrouillage

La refermeture ou le réarmement d'un moyen de protection avec dispositif de verrouillage ne doit pas entraîner de fonctionnement dangereux de la machine.

NOTE Les exigences pour les protecteurs commandant la mise en marche (protecteurs de commande) sont données en 5.3.2.5 de l'ISO 12100-2.

9.3.2 Dépassement des limites de fonctionnement

Si une limite de fonctionnement (par exemple la vitesse, la pression, la position) peut être dépassée et provoquer une situation dangereuse, des moyens doivent être prévus pour détecter le dépassement d'une (des) limite(s) prédéterminée(s) et initier une action de commande appropriée.

9.3.3 Mise en œuvre des fonctions auxiliaires

Le fonctionnement correct des fonctions auxiliaires doit être vérifié par des dispositifs appropriés (par exemple un capteur de pression).

Si l'absence de fonctionnement d'un moteur ou d'un appareil relatif à une fonction auxiliaire (par exemple la lubrification, le refroidissement ou l'évacuation des copeaux) peut engendrer une situation dangereuse, peut causer des dommages à la machine, ou au travail en cours, un verrouillage approprié doit être prévu.

9.3.4 Interverrouillages entre opérations différentes et pour des mouvements contraires

Tous les contacteurs, relais et autres appareils de commande qui commandent des éléments de la machine et peuvent provoquer une situation dangereuse quand ils sont manœuvrés au même moment (par exemple la commande simultanée de deux mouvements contraires) doivent être interverrouillés en vue d'interdire une manœuvre impropre.

Les contacteurs inverseurs (par exemple ceux contrôlant le sens de rotation d'un moteur) doivent être interverrouillés de telle façon qu'en usage normal, aucun court-circuit ne puisse se produire à l'instant de la commutation.

Si, par sécurité, ou pour assurer la continuité de fonctionnement, il est nécessaire que certaines fonctions de la machine soient liées entre elles, alors une coordination adéquate doit être assurée par des verrouillages appropriés. Pour un groupe de machines fonctionnant ensemble, de façon coordonnée et munies de plus d'un équipement de commande, on doit prendre des mesures pour coordonner le fonctionnement des équipements de commande, autant que nécessaire.

Lorsqu'une défaillance de l'organe de commande d'un frein mécanique peut entraîner le fonctionnement du frein lors de la mise sous tension de l'actionneur correspondant, et que cela peut entraîner une situation dangereuse, des verrouillages doivent être prévus pour mettre hors tension l'actionneur.

9.3.5 Freinage par contre-courant

Quand on réalise le freinage d'un moteur par contre-courant, des mesures doivent être prises pour empêcher l'inversion du sens de marche une fois le freinage terminé lorsque cette inversion peut entraîner une situation dangereuse, endommager la machine ou les travaux en cours. A cet effet, un dispositif agissant exclusivement en fonction du temps n'est pas admis.

Les circuits de commande doivent être conçus pour que la rotation d'un arbre de moteur, par exemple à la main, n'entraîne pas de situation dangereuse.

9.4 Fonctions de commande en cas de défaillance

9.4.1 Exigences générales

Lorsque des défaillances ou des perturbations de l'équipement électrique peuvent entraîner une situation dangereuse, endommager la machine ou les travaux en cours, des mesures appropriées doivent être prises pour minimiser la probabilité d'apparition de telles défaillances ou perturbations. Les mesures prescrites et leur importance, tant individuelles que combinées, dépendent du niveau de risque associé à leur utilisation respective (voir 4.1).

Les circuits de commande électriques doivent avoir un niveau approprié de performance de sécurité déterminé à partir de l'appréciation du risque de la machine. Les exigences de la CEI 62061 et/ou de l'ISO 13849-1, de l'ISO 13849-2 doivent s'appliquer.

Les mesures pour réduire ces risques comprennent, de façon non limitative:

- les appareils de protection sur la machine (par exemple les protecteurs avec dispositif de verrouillage, les appareils à déclenchement);
- les verrouillages de protection des circuits électriques;
- l'utilisation de techniques de circuit et de composants éprouvés (voir 9.4.2.1);
- la redondance partielle ou totale (voir 9.4.2.2) ou la diversité (voir 9.4.2.3);
- la mise en œuvre des essais fonctionnels (voir 9.4.2.4).

Lorsque la sauvegarde de la mémoire est réalisée par exemple, par une alimentation par batterie, des mesures doivent être prises pour empêcher des situations dangereuses résultant de la défaillance ou du démontage de la batterie.

Des moyens doivent être prévus pour empêcher l'endommagement de la mémoire non autorisé ou fortuit par exemple par l'utilisation d'une clef, d'un code d'accès ou d'un outil.

9.4.2 Mesures pour minimiser les risques en cas de défaillance

9.4.2.1 Utilisation de techniques de circuit et de composants éprouvés

Ces mesures comprennent, de façon non limitative:

- l'équipotentialité des circuits de commande avec le circuit de protection, pour des besoins fonctionnels (voir 9.4.3.1 et Figure 2);
- le raccordement des appareils de commande conformément à 9.4.3.1;
- l'arrêt par mise hors tension (voir 9.2.2);
- la coupure de tous les conducteurs du circuit de commande de l'appareil commandé (voir 9.4.3.1);
- des appareils de connexion à manœuvre positive d'ouverture (voir la CEI 60947-5-1);
- une conception du circuit destinée à réduire la possibilité de défaillances à l'origine de fonctionnements indésirables.

9.4.2.2 Utilisation de la redondance partielle ou totale

Par la mise en œuvre de la redondance partielle ou totale, il est possible de minimiser la probabilité qu'une seule défaillance du circuit électrique ne conduise à une situation dangereuse. La redondance peut être effective en fonctionnement normal (redondance en ligne) ou conçue à l'aide de circuits spéciaux prenant en charge la fonction de protection (redondance hors ligne) uniquement si la fonction en cours est défaillante.

Quand il est prévu une redondance hors ligne qui n'est pas active en fonctionnement normal, des mesures appropriées doivent être prises pour garantir que ces circuits de commande seront disponibles en cas de besoin.

9.4.2.3 Utilisation de la diversité

L'utilisation de circuits de commande fonctionnant selon des principes différents ou utilisant des appareils ou des composants de types différents peut réduire la probabilité de dangers causés par des défauts et/ou des défaillances. Par exemple:

- en combinant des contacts normalement ouverts et normalement fermés actionnés par des protecteurs avec dispositif de verrouillage;
- en utilisant des composants de circuit de commande de types différents dans le circuit;
- en combinant des équipements électromécaniques et des équipements électroniques dans des configurations redondantes.

En combinant des systèmes électriques et des systèmes non électriques (par exemple mécanique, hydraulique, pneumatique), on peut obtenir des fonctions redondantes et mettre en œuvre la diversité.

9.4.2.4 Utilisation des essais fonctionnels

Les essais fonctionnels peuvent être réalisés automatiquement par le système de commande, ou manuellement par examen ou lors d'essais, au démarrage et à intervalles prédéterminés, ou par combinaison suivant les cas (voir aussi 17.2 et 18.6).

9.4.3 Protection contre des manœuvres impropres dues à des défauts à la terre, à des interruptions de tension et à des pertes de continuité de circuit

9.4.3.1 Défauts à la terre

Les défauts à la terre sur un circuit de commande quelconque ne doivent pas provoquer de démarrage intempestif, de mouvement potentiellement dangereux, ou empêcher l'arrêt de la machine.

Les méthodes pour satisfaire à ces exigences comprennent, mais ne sont pas limitées à, ce qui suit:

Méthode a) Circuits de commande alimentés par des transformateurs de commande:

- 1) Dans le cas d'alimentations de circuits de commande mises à la terre, le conducteur commun est raccordé au circuit de protection au point d'alimentation. Tous les contacts, éléments semiconducteurs, etc., qui sont destinés à manœuvrer un dispositif électromagnétique ou autre (par exemple un relais, un voyant lumineux) sont insérés entre un côté, le conducteur coupé de l'alimentation du circuit de commande et une borne de la bobine ou de l'appareil. L'autre borne de la bobine ou de l'appareil (de préférence ayant toujours le même marquage) est raccordée directement au conducteur commun de l'alimentation du circuit de commande sans aucun élément de coupure (voir Figure 3).

Exception: Les contacts des appareils de protection peuvent être raccordés entre le conducteur commun et les bobines, sous réserve que:

- le circuit soit coupé automatiquement en cas de défaut à la terre, ou
 - la connexion soit très courte (par exemple dans la même enveloppe) et telle qu'un défaut à la terre soit improbable (par exemple un relais de surcharge).
- 2) Les circuits de commande alimentés par un transformateur de commande et non raccordés au circuit de protection, disposés de la manière indiquée en Figure 3 et prévus avec un appareil qui interrompt le circuit automatiquement en cas de défaut à la terre (voir aussi 7.2.4).

Méthode b) Les circuits de commande alimentés par un transformateur de commande avec un enroulement à point milieu et ce point milieu raccordé au circuit de protection, disposés de la manière indiquée en Figure 4 avec le dispositif de protection contre les surintensités muni d'éléments de connexion sur tous les conducteurs d'alimentation du circuit de commande.

NOTE 1 Sur un circuit de commande mis à la terre en son point milieu, la présence d'un défaut à la terre peut laisser 50 % de la tension sur une bobine de relais. Dans ce cas, un relais peut rester maintenu, provoquant alors une incapacité à arrêter une machine.

NOTE 2 Les bobines ou appareils peuvent être commutés sur l'un quelconque des côtés ou sur les deux côtés.

Méthode c) Lorsque le circuit de commande n'est pas alimenté par un transformateur de commande et est soit:

- 1) directement raccordé entre les conducteurs de phase d'une alimentation mise à la terre, ou;
- 2) directement raccordé entre les conducteurs de phase ou entre un conducteur de phase et un conducteur neutre d'une alimentation non mise à la terre ou mise à la terre à travers une impédance élevée,

Les interrupteurs de commande multipolaires qui coupent tous les conducteurs actifs sont utilisés pour la mise en MARCHE ou l'ARRÊT des fonctions de la machine pouvant provoquer une situation dangereuse ou endommager la machine dans le cas d'un démarrage fortuit ou d'un défaut d'arrêt, ou dans le cas de c) 2), un appareil doit être prévu afin de couper automatiquement le circuit dans le cas d'un défaut à la terre.

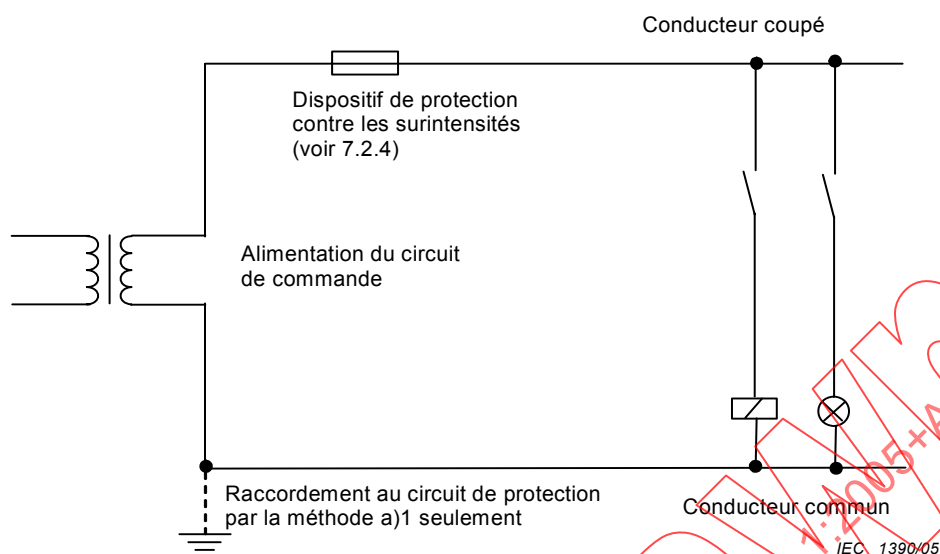


Figure 3 – Méthode a)

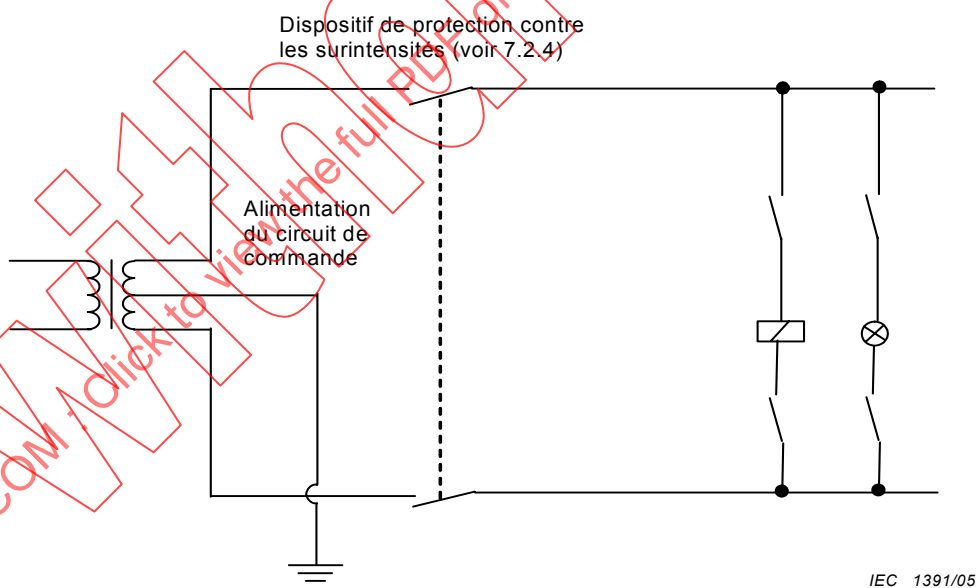


Figure 4 – Méthode b)

9.4.3.2 Interruptions de tension

Les exigences détaillées en 7.5 doivent être appliquées.

Lorsque le circuit de commande utilise un(des) dispositif(s) à mémoire, un fonctionnement correct doit être assuré en cas de défaillance de l'alimentation (par exemple en utilisant une mémoire non volatile) pour éviter toute perte du contenu de la mémoire pouvant entraîner une situation dangereuse.

9.4.3.3 Perte de continuité de circuit

Lorsque la perte de continuité de circuits de commande relatifs à la sécurité, dépendants de contacts glissants, peut entraîner une situation dangereuse, des mesures appropriées doivent être prévues (par exemple la duplication des contacts glissants).

10 Interface opérateur et appareils de commande montés sur la machine

10.1 Généralités

10.1.1 Exigences générales pour les appareils

Cet Article donne les exigences pour les appareils montés à l'extérieur ou partiellement à l'extérieur des enveloppes de commande.

Pour autant qu'il est possible, ces appareils doivent être choisis, montés, et identifiés ou codés conformément aux parties appropriées de la CEI 61310.

La possibilité d'une manœuvre fortuite doit être minimisée, par exemple, par le positionnement des appareils, par une conception adaptée, par la mise en œuvre de mesures de protection complémentaires. Il faut porter une attention particulière au choix, à la disposition, à la programmation et à l'utilisation des dispositifs d'interface opérateur tels qu'écrans tactiles, panneaux de clefs et tableaux de clefs, pour la commande des manœuvres dangereuses de la machine. Voir la CEI 60447.

10.1.2 Emplacement et montage

Autant que possible, les appareils de commande montés sur la machine doivent être:

- facilement accessibles pour le fonctionnement et la maintenance;
- montés de façon à minimiser la possibilité de dommages dus à des activités telles que la manutention des matériaux.

Les organes de commande des appareils manœuvrés à la main doivent être choisis et installés de façon à:

- ne pas se trouver à moins de 0,6 m au-dessus du plancher de service et être aisément accessibles par l'opérateur lorsqu'il est dans sa position normale de travail;
- ne pas placer l'opérateur dans une situation dangereuse lors de leur manœuvre.

Les organes de commande des appareils manœuvrés au pied doivent être choisis et installés de façon à:

- être aisément accessibles par l'opérateur lorsqu'il est dans sa position normale de travail;
- ne pas placer l'opérateur dans une situation dangereuse lors de leur manœuvre.

10.1.3 Protection

Le degré de protection (voir la CEI 60529) ainsi que les autres mesures adéquates doivent fournir une protection contre:

- les effets des liquides, vapeurs, ou gaz agressifs qui se trouvent dans l'environnement physique, ou qui sont utilisés sur la machine;
- l'entrée des polluants (par exemple les copeaux, la poussière, les particules de matière).

De plus, les appareils de commande de l'interface opérateur doivent présenter un degré minimal de protection contre les contacts directs de IPXXD (voir la CEI 60529).

10.1.4 Capteurs de position

Les capteurs de position (par exemple une fin de course, un détecteur de proximité) doivent être disposés de telle façon qu'ils ne soient pas endommagés en cas de surcourse.

Les capteurs de position dans les circuits ayant des fonctions relatives à la sécurité doivent être soit à manœuvre positive d'ouverture (voir la CEI 60947-5-1), soit présenter une fiabilité équivalente (voir 9.4.2).

NOTE Une fonction de commande relative à la sécurité est destinée à maintenir des conditions sûres pour la machine ou à empêcher l'apparition de situations dangereuses sur la machine.

10.1.5 Postes de commande portables et pendants

Les postes de commande opérateur portables et pendants et leurs appareils de commande doivent être choisis et disposés de façon à réduire les possibilités de fonctionnement fortuits de la machine en raison de chocs ou de vibrations (par exemple si on laisse tomber le poste de commande opérateur ou si le poste de commande opérateur heurte un obstacle), (voir aussi 4.4.8).

10.2 Boutons-poussoirs

10.2.1 Couleurs

Les organes de commande à bouton-poussoir doivent être conformes au code de couleur du Tableau 2 (voir aussi 9.2 et l'Annexe B).

Il est recommandé que les couleurs pour les organes de commande MARCHE/MISE SOUS TENSION soient le BLANC, le GRIS, le NOIR ou le VERT avec une préférence pour le BLANC. Le ROUGE ne doit pas être utilisé.

La couleur ROUGE doit être utilisée pour les organes de commande d'arrêt d'urgence ou de coupure d'urgence.

Il est recommandé que les couleurs pour les organes de commande ARRÊT/MISE HORS TENSION soient le NOIR, le GRIS ou le BLANC avec une préférence pour le NOIR. Le VERT ne doit pas être utilisé. Le ROUGE est admis, mais il est recommandé que le ROUGE ne soit pas utilisé à proximité d'un appareil de manœuvre d'urgence.

BLANC, GRIS et NOIR sont les couleurs préférées pour les organes de commande à bouton-poussoir qui agissent alternativement comme des boutons-poussoirs MARCHE/MISE SOUS TENSION et ARRÊT/MISE HORS TENSION. Les couleurs ROUGE, JAUNE ou VERTE ne doivent pas être utilisées (voir aussi 9.2.6).

BLANC, GRIS et NOIR sont les couleurs préférentielles pour les organes de commandes à bouton-poussoir qui provoquent le fonctionnement lorsqu'ils sont manœuvrés et cessent le fonctionnement lorsqu'ils sont relâchés (par exemple les organes nécessitant une action maintenue). Les couleurs ROUGE, JAUNE et VERTE ne doivent pas être utilisées.

Les boutons-poussoirs pour le réarmement doivent être BLEUS, BLANCS, GRIS ou NOIRS. Lorsqu'ils servent aussi de bouton ARRÊT/MISE HORS TENSION, les couleurs BLANCHE, GRIS ou NOIRE sont préférées avec une grande préférence pour le NOIR. Le VERT ne doit pas être utilisé.

Lorsque la même couleur BLANC, GRIS ou NOIR est utilisée pour différentes fonctions (par exemple le BLANC pour les organes de commande MARCHE/MISE SOUS TENSION et pour les organes de commande ARRÊT/MISE HORS TENSION), des moyens complémentaires de codage (par exemple la forme, la position, le symbole) doivent être utilisés pour l'identification des organes de commande à bouton-poussoir.

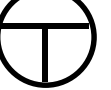
Tableau 2 – Code de couleurs pour organes de commande à bouton-poussoir et leur signification

Couleur	Signification	Explication	Exemple d'application
ROUGE	Urgence	Action en cas de situation dangereuse ou d'urgence	Arrêt d'urgence Initiation d'une fonction d'urgence (voir aussi 10.2.1)
JAUNE	Anormal	Actionner en cas de condition anormale	Intervention pour supprimer une condition anormale Intervention pour remettre en route un cycle automatique interrompu
BLEU	Obligatoire	Actionner en cas de condition nécessitant une action obligatoire	Fonction de réarmement
VERT	Normal	Actionner pour initier des conditions normales	(Voir 10.2.1)
BLANC			MARCHE/MISE SOUS TENSION (préféré) ARRÊT/MISE HORS TENSION
GRIS	Pas de signification spécifique assignée	Pour initiation générale de fonctions sauf l'arrêt d'urgence (voir note)	MARCHE/MISE SOUS TENSION ARRÊT/MISE HORS TENSION
NOIR			MARCHE/MISE SOUS TENSION ARRÊT/MISE HORS TENSION (préféré)
NOTE : Lorsque des moyens supplémentaires de codification (par exemple forme, position, texture) sont utilisés pour l'identification des organes de commande par bouton-poussoir, les mêmes couleurs BLANC, GRIS ou NOIR peuvent être utilisées pour des fonctions différentes (par exemple BLANC pour MARCHE/MISE SOUS TENSION et pour ARRÊT/MISE HORS TENSION)			

10.2.2 Marquages

En plus de l'identification fonctionnelle décrite en 16.3, il est recommandé de marquer les boutons-poussoirs avec les symboles du Tableau 3 soit à côté ou de préférence directement sur les organes de commande.

Tableau 3 – Symboles pour boutons-poussoirs

MARCHE ou MISE SOUS TENSION	ARRÊT ou MISE HORS TENSION	Boutons-poussoirs agissant alternativement comme des boutons MARCHE ou ARRÊT et comme des boutons MISE SOUS TENSION ou MISE HORS TENSION	Boutons-poussoirs agissant comme des boutons MARCHE ou MISE SOUS TENSION lorsqu'ils sont pressés et ARRÊT ou MISE HORS TENSION lorsqu'ils sont relâchés (c'est-à-dire nécessitant une action maintenue)
CEI 60417-5007 (DB:2002-10) 	CEI 60417-5008 (DB:2002-10) 	CEI 60417-5010 (DB:2002-10) 	CEI 60417-5011 (DB:2002-10) 

10.3 Voyants lumineux de signalisation et dispositifs d'affichage

10.3.1 Généralités

Les voyants lumineux de signalisation et les dispositifs d'affichage servent à délivrer les types d'informations suivants:

- indication: pour attirer l'attention de l'opérateur ou pour lui indiquer qu'il convient d'exécuter une tâche déterminée. Les couleurs ROUGE, JAUNE, BLEUE, et VERTE sont normalement utilisées dans ce mode; pour les voyants lumineux de signalisation et les dispositifs d'affichage clignotants, voir 10.3.3.
- confirmation: pour confirmer un ordre, ou une condition, ou pour confirmer la fin d'une période de transition ou de modification. Les couleurs BLEUE et BLANCHE sont normalement utilisées dans ce mode et la couleur VERTE peut être utilisée dans certains cas.

Les voyants lumineux de signalisation et les dispositifs d'affichage doivent être choisis et installés de façon à être visibles par un opérateur dans la position normale de travail (voir aussi la CEI 61310-1).

Les circuits des voyants lumineux de signalisation utilisés pour les éclairages d'avertissement doivent être équipés de moyens permettant de vérifier le fonctionnement de ces éclairages.

10.3.2 Couleurs

Sauf accord contraire entre le fournisseur et l'utilisateur (voir Annexe B), les voyants lumineux de signalisation doivent suivre le code de couleurs, en fonction de la condition (l'état) de la machine, conformément au Tableau 4.

Tableau 4 – Couleurs des voyants lumineux de signalisation et leur signification suivant la condition de la machine

Couleur	Signification	Explication	Action de l'opérateur
ROUGE	Urgence	Condition dangereuse	Action immédiate pour traiter la condition dangereuse (par exemple la coupure de l'alimentation de la machine, étant alerté de la condition dangereuse et restant à distance de la machine)
JAUNE	Anormal	Condition anormale Emergence d'une condition critique	Surveillance et/ou intervention (par exemple en rétablissant la fonction prévue)
BLEU	Obligatoire	Indication d'une condition nécessitant une action de l'opérateur	Action obligatoire
VERT	Normal	Condition normale	Optionnel
BLANC	Neutre	Autres conditions; peut être utilisé si un doute subsiste sur l'usage des couleurs ROUGE, JAUNE, VERT et BLEU	Surveillance

Il est recommandé que les tours de signalisation sur les machines aient les couleurs applicables dans l'ordre suivant du haut vers le bas; ROUGE, JAUNE, BLEU, VERT et BLANC.

10.3.3 Voyants lumineux et dispositifs d'affichage clignotants

Pour une distinction ou une information supplémentaire et particulièrement pour attirer davantage l'attention, des voyants lumineux et dispositifs d'affichage clignotants peuvent être prévus pour les besoins suivants:

- attirer l'attention;
- exiger une action immédiate;
- indiquer une discordance entre l'ordre et l'état réel;
- indiquer un changement en cours (clignotement pendant la transition).

Il est recommandé d'utiliser des voyants lumineux ou dispositifs d'affichage clignotants à fréquence plus élevée pour l'information de priorité supérieure (voir la CEI 60073 pour les taux de clignotement et les rapport impulsion/ pause).

Si des voyants lumineux ou dispositifs d'affichage clignotants sont utilisés pour fournir une information de priorité plus élevée, il convient de fournir aussi des dispositifs d'alerte sonores.

10.4 Boutons-poussoirs lumineux

Les organes de commande à boutons-poussoirs lumineux doivent être colorés conformément aux codes de couleurs des Tableaux 2 et 4. En cas de difficultés pour assigner une couleur appropriée, le BLANC doit être utilisé. La couleur ROUGE pour l'organe de commande d'arrêt d'urgence ne doit pas dépendre de l'éclairage de son ampoule.

10.5 Appareils de commande rotatifs

Les appareils ayant une partie rotative tels que les potentiomètres et les commutateurs doivent disposer de moyens pour empêcher la rotation de la partie fixe. La friction seule ne doit pas être considérée comme suffisante.

10.6 Appareils de mise en marche

Les organes de commande utilisés pour provoquer une fonction marche ou le mouvement d'éléments de machine (par exemple les coulisseaux, les broches, les chariots) doivent être construits et montés de façon à minimiser les manœuvres fortuites. Cependant, des organes de commande du type champignon peuvent être utilisés pour la commande bimanuelle (voir aussi ISO 13851).

10.7 Appareils d'arrêt d'urgence

10.7.1 Emplacement des appareils d'arrêt d'urgence

Les appareils d'arrêt d'urgence doivent être facilement accessibles.

Les appareils d'arrêt d'urgence doivent être placés à chaque poste de commande opérateur et aux autres emplacements où l'initiation d'un arrêt d'urgence peut être demandée (**exception**: voir 9.2.7.3).

Il peut exister des circonstances dans lesquelles une confusion est possible entre les appareils d'arrêt d'urgence actifs et inactifs, engendrée par une désactivation du poste de commande opérateur. Dans de tels cas, des moyens (par exemple des informations pour l'utilisation) doivent être fournis pour minimiser la confusion.

10.7.2 Types d'appareils d'arrêt d'urgence

Les appareils pour arrêt d'urgence sont de type:

- à interrupteur actionné par bouton-poussoir muni d'une tête du type coup de poing ou champignon;
- à interrupteur actionné par câble;
- à interrupteur à commande par pédale, sans garde mécanique.

Les appareils doivent être à manœuvre positive d'ouverture (voir la CEI 60947-5-1, Annexe K).

10.7.3 Couleur des organes de commande

Les organes de commandes des appareils d'arrêt d'urgence doivent être de couleur ROUGE. S'il existe un fond immédiatement autour de l'organe de commande, alors ce fond doit être de couleur JAUNE. Voir aussi l'ISO 13850.

10.7.4 Manœuvre locale de l'appareil de sectionnement de l'alimentation pour effectuer un arrêt d'urgence

L'appareil de sectionnement de l'alimentation peut être manœuvré en local pour réaliser la fonction d'arrêt d'urgence si:

- il est facilement accessible pour l'opérateur; et
- s'il est du type défini en 5.3.2 a), b), c) ou d).

S'il est aussi prévu pour un tel usage, l'appareil de sectionnement de l'alimentation doit satisfaire aux spécifications de couleur de 10.7.3.

10.8 Appareils de coupure d'urgence

10.8.1 Emplacement des appareils de coupure d'urgence

Les appareils de coupure d'urgence doivent être situés selon ce qui est nécessaire pour l'application donnée. Normalement, ces appareils sont situés séparément des postes de commande opérateurs. Lorsqu'il est nécessaire de fournir un poste de commande avec un appareil d'arrêt d'urgence et un appareil de coupure d'urgence, des dispositions doivent être prévues pour éviter la confusion entre ces appareils.

NOTE Ceci peut être réalisé, par exemple, par la mise en place d'un déclencheur manuel à bris de glace comme appareil de coupure d'urgence.

10.8.2 Types d'appareils de coupure d'urgence

Les appareils de coupure d'urgence sont de type:

- à interrupteur actionné par bouton-poussoir muni d'une tête du type coup de poing ou champignon;
- à interrupteur actionné par câble.

Les appareils doivent être à manœuvre positive d'ouverture (voir la CEI 60947-5-1, Annexe K).

L'interrupteur actionné par bouton-poussoir peut avoir une enveloppe à bris de glace.

10.8.3 Couleur des organes de commande

Les organes de commandes des appareils de coupure d'urgence doivent être de couleur ROUGE. S'il existe un fond immédiatement autour de l'organe de commande, alors ce fond doit être de couleur JAUNE.

Lorsqu'il peut y avoir confusion entre les appareils d'arrêt d'urgence et les appareils de coupure d'urgence, des moyens doivent être fournis pour minimiser la confusion.

10.8.4 Manœuvre locale de l'appareil de sectionnement de l'alimentation pour effectuer une coupure d'urgence

S'il est prévu de manœuvrer l'appareil de sectionnement de l'alimentation en local pour effectuer une coupure d'urgence, l'appareil de sectionnement de l'alimentation doit être facilement accessible et il convient qu'il satisfasse aux exigences de couleur de 10.8.3.

10.9 Dispositif de commande de validation

Si un dispositif de commande de validation est fourni en tant que partie d'un système, il doit signaler la commande de validation pour autoriser la manœuvre uniquement quand il est actionné dans une certaine position. Dans toute autre position, la manœuvre doit être arrêtée ou empêchée.

Les dispositifs de commande de validation doivent être choisis et disposés de façon à minimiser la possibilité de neutralisation.

Les dispositifs de commande de validation doivent être choisis avec les caractéristiques suivantes:

- être conçus selon des principes ergonomiques;
- pour un type à deux positions:
 - position 1: mise hors tension de l'interrupteur (l'organe de commande n'est pas manœuvré);
 - position 2: fonction de validation (l'organe de commande est manœuvré).
- pour un type à trois positions:
 - position 1: mise hors tension de l'interrupteur (l'organe de commande n'est pas manœuvré);
 - position 2: fonction de validation (l'organe de commande est manœuvré en position milieu);
 - position 3: mise hors tension (l'organe de commande est manœuvré au-delà de sa position milieu);
 - lors du retour de la position 3 à la position 2, la fonction de validation n'est pas activée.

NOTE La fonction de commande de validation est décrite en 9.2.6.3.

11 Appareillage de commande: emplacement, montage et enveloppes

11.1 Exigences générales

Tout appareillage de commande doit être situé et monté de façon à faciliter:

- son accessibilité et sa maintenance;
- sa protection contre les influences externes ou conditions dans lesquelles il est destiné à fonctionner;
- le fonctionnement et la maintenance de la machine et de son équipement associé.

11.2 Emplacement et montage

11.2.1 Accessibilité et maintenance

Tous les éléments de l'appareillage de commande doivent être placés et orientés de telle sorte qu'ils puissent être identifiés sans qu'il faille les déplacer, ou déplacer le câblage. Il convient que la disposition des éléments nécessitant un contrôle pour un bon fonctionnement, ou susceptibles d'être remplacés, permette ces opérations sans démontage d'autres équipements ou parties de la machine (à l'exception de l'ouverture des portes ou de l'enlèvement de capots, barrières ou obstacles). Les bornes non associées à l'appareillage de commande doivent aussi respecter ces exigences.

Tout appareillage de commande doit être monté de façon à faciliter son fonctionnement et sa maintenance depuis la face avant. Si un outil spécial est nécessaire pour régler, entretenir ou démonter un appareil, un tel outil doit être fourni. Quand un accès est nécessaire pour la maintenance ou le réglage habituel, les appareils appropriés doivent être situés entre 0,4 m et 2,0 m au-dessus du plancher de service. Il est recommandé que les bornes soient situées au moins à 0,2 m au dessus du plancher de service et placées de manière à ce que les câbles et les conducteurs puissent leur être raccordés facilement.

Aucun équipement, excepté les appareils pour le fonctionnement, l'indication, la mesure et le refroidissement, ne doit être monté sur les portes ou couvercles d'accès normalement démontables des enveloppes. Quand des appareils de commande sont connectés par des systèmes embrochables, on doit rendre leur association évidente, par le type (forme), par le marquage ou par la désignation de référence, par un ou une combinaison de ces moyens (voir 13.4.5).

Les appareils embrochables qui sont manipulés en fonctionnement normal doivent être équipés de détrompeurs, si l'absence de détrompeur peut conduire à un dysfonctionnement.

Les ensembles fiche-prise qui sont manipulés en fonctionnement normal doivent être situés et montés de telle sorte que leur accès soit dégagé.

Les points de contrôle pour le raccordement des appareils de mesure, s'ils existent, doivent être:

- montés de telle sorte que leur accès soit dégagé,
- clairement identifiés de façon à correspondre avec la documentation (voir 17.3);
- convenablement isolés;
- suffisamment espacés.

11.2.2 Séparation physique et groupage

Les pièces et dispositifs non électriques, qui ne sont pas directement associés à un équipement électrique, ne doivent pas être installés dans des enveloppes contenant de l'appareillage de commande. Il convient de séparer les appareils tels que les électrovannes du reste de l'équipement électrique (par exemple dans un coffret séparé).

Les appareils de commande installés au même endroit et raccordés à la tension d'alimentation, ou à la fois aux tensions d'alimentation de puissance et de commande, doivent être groupés et séparés de ceux connectés aux seules tensions de commande.

Les bornes doivent être séparées par groupes pour:

- les circuits de puissance;
- les circuits de commande associés;
- les autres circuits de commande, alimentés par des sources extérieures (par exemple pour le verrouillage).

Les groupes peuvent être montés adjacents, pourvu que chaque groupe puisse être aisément identifié (par exemple par des marquages, par des dimensions différentes, par des barrières ou par la couleur).

Lors de la mise en place d'appareils (y compris les liaisons), leurs distances d'isolement dans l'air et lignes de fuites spécifiées par le fournisseur doivent être maintenues, en tenant compte des influences externes ou des conditions de l'environnement physique.

11.2.3 Effets de la chaleur

Les composants générateurs de chaleur (par exemple les puits de chaleur, les résistances de puissance) doivent être installés de telle manière que la température de chaque composant situé à proximité reste dans les limites admises.

11.3 Degrés de protection

La protection de l'appareillage de commande contre la pénétration des corps solides étrangers et des liquides doit être compatible avec les influences externes dans lesquelles la machine est destinée à fonctionner (c'est-à-dire l'emplacement et les conditions d'environnement), et doit être suffisante contre la poussière, les liquides de refroidissement et les copeaux.

NOTE 1 Les exigences pour la protection contre les chocs électriques sont données à l'Article 6.

NOTE 2 Les degrés de protection contre la pénétration d'eau sont traités dans la CEI 60529. Des dispositions complémentaires peuvent être nécessaires contre la pénétration d'autres liquides.

Les enveloppes de l'appareillage de commande doivent offrir un degré de protection minimal de IP22 (voir la CEI 60529).

Exceptions:

a) Cas d'une zone de service électrique utilisée comme enveloppe de protection pour un degré approprié de protection contre la pénétration des corps solides et des liquides.

b) Cas des collecteurs démontables sur des systèmes de câbles conducteurs ou de barres conductrices, non conformes à IP22, mais respectant les mesures de 6.2.5.

NOTE 3 Quelques exemples d'applications, avec le degré de protection habituellement fourni par leurs enveloppes, sont listés ci-dessous:

– enveloppes ventilées, ne contenant que la résistance de démarrage du moteur et autres équipements de grandes dimensions	IP10
– enveloppes ventilées contenant d'autres équipements	IP32
– enveloppes d'usage industriel général	IP32, IP43 et IP54
– enveloppes dans des locaux nettoyés au jet d'eau à basse pression	IP55
– enveloppes procurant une protection contre les poussières fines	IP65
– enveloppes contenant des assemblages glissants	IP2X

Selon les conditions de mise en œuvre, un autre degré de protection peut être approprié.

11.4 Enveloppes, portes et ouvertures

Les enveloppes doivent être réalisées en matériau apte à résister aux contraintes mécaniques, électriques et thermiques ainsi qu'aux effets de l'humidité et des autres facteurs environnementaux susceptibles d'être rencontrés en usage normal.

Il convient que les fermetures utilisées pour les portes et couvercles soient du type captif. Les fenêtres prévues pour lire les cadrans des appareils indicateurs installés à l'intérieur des enveloppes doivent être réalisées en matériau capable de résister aux contraintes mécaniques et aux produits chimiques (par exemple le verre trempé ou le polycarbonate d'épaisseur supérieure ou égale à 3 mm).

Il est recommandé que la largeur des portes des enveloppes ne dépasse pas 0,9 m et qu'elles soient munies de charnières verticales, avec un angle d'ouverture d'au moins 95°.

Les joints des portes, couvercles, capots et enveloppes, etc., doivent résister aux effets chimiques des liquides, vapeurs ou gaz agressifs, utilisés sur la machine. Les moyens fournis pour maintenir le degré de protection d'une enveloppe au niveau des portes, couvercles et capots qui nécessitent leur ouverture ou leur enlèvement en fonctionnement normal ou lors de la maintenance doivent:

- être maintenus de façon sûre soit aux porte/couvercle, soit à l'enveloppe;
- ne pas être détériorés par enlèvement ou remplacement de la porte ou du couvercle, et ainsi altérer le degré de protection.

Lorsqu'il existe des ouvertures ménagées dans les enveloppes (par exemple, pour l'accès des câbles), y compris celles vers le sol ou l'assise, ou vers d'autres parties de la machine, des moyens doivent être fournis pour assurer le degré de protection spécifié pour l'équipement. Les ouvertures destinées aux passages des câbles doivent pouvoir être facilement réouvertes sur le site. Une ouverture convenable peut être ménagée à la base des enveloppes situées dans la machine, pour permettre à l'humidité due à la condensation de s'évacuer.

Il ne doit pas exister d'ouverture entre les enveloppes renfermant du matériel électrique et les boîtiers renfermant des liquides de refroidissement, des huiles de graissage ou des fluides hydrauliques, ou bien ceux à l'intérieur desquels de l'huile, d'autres liquides ou des poussières pourraient pénétrer. Cette exigence ne s'applique pas aux appareils électriques conçus spécialement pour fonctionner dans l'huile (par exemple les embrayages électromagnétiques), ni à l'équipement électrique dans lesquels des liquides de refroidissement sont utilisés.

Lorsque des trous sont prévus dans une enveloppe en vue de sa fixation, il peut être nécessaire de prévoir des moyens pour assurer qu'après montage les trous ne réduisent pas le degré de protection exigé.

Un matériel pouvant atteindre, en service normal ou non, une température de surface suffisante pour entraîner un risque d'incendie ou un dommage pour un matériau d'enveloppe doit:

- être placé dans une enveloppe qui résistera, sans risque d'incendie ou de dommage, aux températures qui peuvent être atteintes; et
- être installé et placé à une distance suffisante des matériels adjacents de façon à permettre une dissipation sûre de la chaleur (voir aussi 11.2.3); ou
- sinon être protégé par un écran en matériau apte à résister, sans risque d'incendie ou de dommage, à la chaleur émise par le matériel.

NOTE Une étiquette d'avertissement conforme à 16.2.2 peut se révéler nécessaire.

11.5 Accès à l'appareillage de commande

Les portes dans les passages pour le personnel et pour l'accès aux zones de service électrique doivent:

- présenter une largeur d'au moins 0,7 m et une hauteur d'au moins 2,1 m;
- s'ouvrir à l'extérieur;
- disposer de moyens (par exemple des fermetures anti-panique) pour permettre une ouverture de l'intérieur sans utilisation d'une clé ou d'un outil.

Les enveloppes qui permettent facilement l'entrée complète d'une personne doivent être équipées de moyens autorisant sa sortie, par exemple des fermetures anti-panique sur l'intérieur des portes. Les enveloppes prévues pour de tels accès, par exemple pour une réinitialisation, un réglage ou un entretien, doivent avoir une largeur libre d'au moins 0,7 m et une hauteur libre d'au moins 2,1 m.

Dans les cas où:

- l'équipement est susceptible d'être sous tension durant l'accès; et
- les parties conductrices sont exposées,

La largeur libre doit être égale à au moins 1,0 m. Dans les cas où de telles parties sont présentes sur les deux côtés du chemin d'accès la largeur libre doit être égale à au moins 1,5 m.

NOTE Ces dimensions sont dérivées de la série ISO 14122.

12 Conducteurs et câbles

12.1 Exigences générales

Les conducteurs et câbles doivent être choisis de telle sorte qu'ils conviennent aux conditions d'utilisation (par exemple la tension, le courant, la protection contre les chocs électriques, le groupement de câbles) et aux influences externes (par exemple la température ambiante, la présence d'eau ou de substances corrosives, les contraintes mécaniques, y compris les contraintes lors de l'installation, le risque d'incendie) qui peuvent exister.

NOTE Une information complémentaire est disponible dans le document HD 516 S2 du CENELEC.

Ces exigences ne s'appliquent pas au câblage intégré des ensembles, des sous-ensembles et des appareils fabriqués et essayés conformément aux normes CEI appropriées (par exemple la CEI 60439-1).

12.2 Conducteurs

En général, les conducteurs doivent être en cuivre. Si des conducteurs en aluminium sont utilisés, la section doit être au moins de 16 mm².

Afin d'assurer la résistance mécanique appropriée, il convient que la section des conducteurs ne soit pas inférieure à celle indiquée dans le Tableau 5. Toutefois, les conducteurs de sections plus faibles ou de fabrications autres que celles indiquées au Tableau 5 peuvent être utilisés dans un équipement sous réserve que la résistance mécanique adéquate soit réalisée par d'autres moyens et que le fonctionnement ne soit pas altéré.

NOTE La classification des conducteurs est donnée au Tableau D.4.

Tableau 5 – Sections minimales des conducteurs en cuivre

Emplacement	Application	Type de conducteur, câble				
		Unifilaire		Multifilaire		
		Souple Classe 5 ou 6	Massif (classe 1) ou câblé (classe 2)	Deux conducteurs blindé	Deux conducteurs non blindé	Trois conducteurs ou plus, blindé ou non
Câblage à l'extérieur des enveloppes (de protection)	Circuits de puissance fixes;	1,0	1,5	0,75	0,75	0,75
	Circuits de puissance sujets à de fréquents mouvements	1,0	-	0,75	0,75	0,75
	Circuits de commande	1,0	1,0	0,2	0,5	0,2
	Transfert de données	-	-	-	-	0,08
Câblage à l'intérieur des enveloppes ¹⁾	Circuits de puissance (connexions non mobiles)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
	Circuits de commande	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Transfert de données	-	-	-	-	0,08

NOTE Toutes les sections sont en mm².

¹⁾ A l'exception des exigences particulières des normes individuelles, voir aussi 12.1.

Les conducteurs de classe 1 et de classe 2 sont principalement destinés à un usage entre des parties rigides et non mobiles.

Tous les conducteurs qui sont soumis à de fréquents mouvements (par exemple un mouvement par heure de fonctionnement de la machine) doivent être à âme souple câblée de classe 5 ou 6.

12.3 Isolant

Les types d'isolant disponibles comprennent (de façon non limitative):

- polychlorure de vinyle (PVC);
- caoutchouc, naturel et synthétique;
- caoutchouc siliconé (SiR);
- minéral;
- polyéthylène réticulé (PR);
- éthylène propylène (EPR).

Si l'isolant des conducteurs et des câbles (par exemple le PVC) peut constituer un risque dû à la propagation d'incendie ou à l'émission de fumées toxiques ou corrosives, il est recommandé de rechercher les conseils du fournisseur de câble. Il est essentiel d'apporter une attention particulière à l'intégrité d'un circuit présentant une fonction relative à la sécurité.

L'isolant des câbles et conducteurs utilisés doit être adapté pour une tension d'essai:

- non inférieure à 2 000 V en courant alternatif pendant 5 min pour des fonctionnements sous des tensions supérieures à 50 V en courant alternatif ou 120 V en courant continu, ou
- non inférieures à 500 V en courant alternatif pendant 5 min pour les circuits TBTP (voir la CEI 60364-4-41, matériels de classe III).

La résistance mécanique et l'épaisseur de l'isolant doivent être telles que l'isolant ne puisse pas être endommagé lors du fonctionnement ou durant le câblage, en particulier pour les câbles tirés dans des conduits.

12.4 Courant admissible en fonctionnement normal

Le courant admissible dépend de plusieurs facteurs, par exemple le matériau isolant, le nombre de conducteurs d'un câble, la conception (protection), les méthodes d'installation, le groupage et la température ambiante.

NOTE 1 Une information détaillée et des recommandations complémentaires peuvent être trouvées dans la CEI 60364-5-52, dans plusieurs normes nationales ou indiquées par le fabricant.

Un exemple typique de courants admissibles pour le câblage isolé au PVC entre des enveloppes et des éléments individuels d'un équipement dans des conditions de régime établi est donné au Tableau 6.

NOTE 2 Pour des applications particulières où le dimensionnement correct du câble peut dépendre de la relation entre la durée du cycle de fonctionnement et la constante de temps thermique du câble (par exemple le démarrage avec une charge à forte inertie, la charge intermittente), il est recommandé de consulter le fabricant de câbles.

Tableau 6 – Exemples de courants admissibles (I_z) pour conducteurs ou câbles en cuivre isolés au PVC, en régime permanent, pour une température ambiante de +40 °C, pour différentes méthodes d'installation

	Méthode d'installation (voir D.1.2)			
	B1	B2	C	E
Section mm ²	Courant admissible I_z pour circuits triphasés			
	A			
0,75	8,6	8,5	9,8	10,4
1,0	10,3	10,1	11,7	12,4
1,5	13,5	13,1	15,2	16,1
2,5	18,3	17,4	21	22
4	24	23	28	30
6	31	30	36	37
10	44	40	50	52
16	59	54	66	70
25	77	70	84	88
35	96	86	104	110
50	117	103	125	133
70	149	130	160	171
95	180	156	194	207
120	208	179	225	240
Electronique (paires)				
0,20	Ne s'applique pas	4,3	4,4	4,4
0,5	Ne s'applique pas	7,5	7,5	7,8
0,75	Ne s'applique pas	9,0	9,5	10

NOTE 1 Les valeurs de courants admissibles du Tableau 6 sont basées sur:

- un circuit triphasé symétrique pour des sections de 0,75 mm² et plus;
- une paire de circuit de commande pour des sections comprises entre 0,2 mm² et 0,75 mm².

Quand des câbles/paires chargés sont installés en nombre plus important, corriger les valeurs du Tableau 6 selon les Tableaux D.2 ou D.3.

NOTE 2 Pour les températures ambiantes différentes de 40 °C, corriger le courant admissible en utilisant les valeurs données au Tableau D.1.

NOTE 3 Ces valeurs ne s'appliquent pas aux câbles souples enroulés sur des tambours (voir 12.6.3).

NOTE 4 Pour les courants admissibles d'autres câbles, voir la CEI 60364-5-52.

12.5 Chute de tension dans les câbles et conducteurs

La chute de tension entre le point d'alimentation et la charge ne doit pas dépasser 5 % de la tension nominale dans les conditions normales de fonctionnement. Pour cela, il peut s'avérer nécessaire d'utiliser des conducteurs de section supérieure à celle déduite du Tableau 6.

12.6 Câbles souples

12.6.1 Généralités

Les câbles souples doivent avoir des conducteurs de classe 5 ou 6.

NOTE 1 Les conducteurs de classe 6 sont composés de brins de diamètre plus faible et sont plus souples que les conducteurs de classe 5 (voir Tableau D.4).

Les câbles soumis à des conditions de service sévères doivent être appropriés pour être protégés contre:

- l'abrasion due à des manipulations mécaniques et à des passages sur des surfaces rugueuses;
- le vrillage dû à un fonctionnement sans guides;
- les contraintes dues aux rouleaux de guidage et à un guidage forcé, quand ils sont enroulés et réenroulés sur des tambours de câbles.

NOTE 2 Les câbles utilisés dans ces conditions sont spécifiés dans les normes nationales correspondantes.

NOTE 3 La durée de vie du câble sera réduite si des conditions de fonctionnement défavorables telles que fortes contraintes en traction, petits rayons, pliures dans des plans différents et/ou cycles fréquents se juxtaposent.

12.6.2 Dimensionnement mécanique

Le système de manœuvre du câble de la machine doit être conçu pour maintenir les contraintes de traction des conducteurs aussi faibles que possible durant le fonctionnement de la machine. Si des conducteurs en cuivre sont utilisés, la contrainte de traction appliquée aux conducteurs ne doit pas dépasser 15 N/mm^2 par rapport à la section droite du cuivre. Si les sollicitations de l'application dépassent la limite de contrainte de tension 15 N/mm^2 , il est recommandé d'utiliser des câbles ayant des caractéristiques de construction spéciales et que la contrainte maximale admissible soit approuvée par le fabricant du câble.

La contrainte maximale appliquée aux conducteurs des câbles souples en matériau autre que le cuivre doit entrer dans la spécification du fabricant du câble.

NOTE Les conditions suivantes influent sur la contrainte de traction des conducteurs:

- les forces d'accélération;
- la vitesse du mouvement;
- le poids mort des câbles;
- la méthode de guidage;
- la conception du tambour de câbles.

12.6.3 Courant admissible des câbles enroulés sur tambours

Les câbles à enrouler sur des tambours doivent être choisis avec des conducteurs de section telle que, lorsqu'ils sont complètement enroulés et alimentés sous la charge normale, la température maximale permise ne soit pas dépassée.

Lorsque des câbles de section circulaire sont disposés sur des tambours, il convient que le courant admissible à l'air libre soit corrigé conformément au Tableau 7 (voir aussi l'Article 44 de la CEI 60621-3).

NOTE Le courant admissible des câbles à l'air libre peut être trouvé dans les spécifications des fabricants et dans les normes nationales correspondantes.

Tableau 7 – Facteurs de réduction pour des câbles enroulés sur tambours

Type de tambour	Nombre de couches de câbles				
	Nombre quelconque	1	2	3	4
Cylindrique ventilé	–	0,85	0,65	0,45	0,35
Radial ventilé	0,85	–	–	–	–
Radial non ventilé	0,75	–	–	–	–

NOTE 1 Dans un tambour de type radial, les couches de câbles en spirale sont disposées entre des flancs très rapprochés; dans le cas de flancs pleins, le tambour est considéré comme non ventilé et si les flancs ont des ouïes suffisantes, il est considéré comme ventilé.

NOTE 2 Dans un tambour cylindrique ventilé, les couches de câbles sont disposées entre des flancs très espacés et le tambour et ses flancs disposent d'ouïes de ventilation.

NOTE 3 Il est recommandé d'examiner avec les fabricants du câble et du tambour la valeur du facteur de réduction. Cela peut conduire à choisir un autre facteur.

12.7 Câbles conducteurs, barres conductrices et assemblages glissants

12.7.1 Protection contre les contacts directs

Les câbles conducteurs, les barres conductrices et les assemblages glissants doivent être installés ou mis sous enveloppe de manière que, lors de l'accès normal à la machine, la protection contre les contacts directs soit réalisée par l'application de l'une des mesures de protection suivantes:

- une protection par une isolation partielle des parties actives, ou si cela n'est pas réalisable;
- une protection à l'aide d'enveloppes ou de barrières avec un degré de protection minimal de IP2X (voir 412.2 de la CEI 60364-4-41).

Les surfaces supérieures horizontales des barrières ou enveloppes qui sont facilement accessibles doivent procurer un degré de protection d'au moins IP4X (voir 412.2.2 de la CEI 60364-4-41).

Si le degré de protection prescrit n'est pas réalisé, la protection par mise hors de portée des parties actives combinée avec une coupure d'urgence conformément à 9.2.5.4.3 doit être appliquée.

Les câbles conducteurs et les barres conductrices doivent être installés et/ou protégés de manière à:

- empêcher tout contact, particulièrement pour les câbles conducteurs et les barres conductrices non protégés, avec des éléments conducteurs tels que les câbles des interrupteurs commandés par câble, les dispositifs de retenue et les chaînes d'entraînement;
- empêcher tout dommage dû à des charges suspendues.

12.7.2 Circuit du conducteur de protection

Si des câbles conducteurs, des barres conductrices et des assemblages glissants font partie du circuit de protection, ils ne doivent pas être parcourus par des courants en fonctionnement normal. C'est pourquoi le conducteur de protection (PE) et le conducteur neutre (N) doivent utiliser chacun des câbles conducteurs, des barres conductrices ou des assemblages glissants distincts. La continuité du circuit de protection utilisant des contacts glissants doit être assurée par des mesures appropriées (par exemple la duplication du collecteur de courant, la surveillance de la continuité).

12.7.3 Collecteurs de courant du conducteur de protection

Les collecteurs de courant du conducteur de protection doivent présenter une forme ou structure telle qu'ils ne sont pas interchangeables avec les autres collecteurs de courant. Ces collecteurs doivent être du type à contact glissant.

12.7.4 Collecteurs de courant démontables avec fonction de sectionnement

Les collecteurs de courant démontables disposant d'une fonction de sectionnement doivent être conçus de telle manière que le circuit du conducteur de protection ne puisse être coupé qu'après coupure des conducteurs actifs et que le rétablissement de la continuité du circuit de protection se fasse avant la reconnexion de tout conducteur actif (voir aussi 8.2.4).

12.7.5 Distances d'isolement dans l'air

Les distances d'isolement dans l'air entre les conducteurs respectifs et entre les systèmes adjacents de câbles conducteurs, de barres conductrices et d'assemblages glissants et leurs collecteurs de courant correspondants doivent être appropriées au moins à une tension assignée de tenue aux chocs pour une catégorie III de surtension selon la CEI 60664-1.

12.7.6 Lignes de fuite

Les lignes de fuite entre les conducteurs respectifs, entre les systèmes adjacents de câbles conducteurs, de barres conductrices et d'assemblages glissants et leurs collecteurs de courant correspondants doivent être appropriées pour un fonctionnement dans l'environnement prévu, par exemple à l'air libre (CEI 60664-1), à l'intérieur des bâtiments, protégés par enveloppes.

Dans le cas d'environnements particulièrement poussiéreux, humides ou corrosifs, les exigences suivantes sont applicables pour les lignes de fuite:

- les câbles conducteurs, les barres conductrices et les assemblages glissants non protégés doivent comporter des isolateurs avec des lignes de fuite minimales de 60 mm;
- pour des câbles conducteurs sous fourreaux, des barres conductrices multipolaires isolées et des barres conductrices individuelles isolées, les lignes minimales de fuite doivent être de 30 mm.

Les recommandations du fabricant doivent être suivies en ce qui concerne les mesures particulières pour empêcher une diminution graduelle des valeurs d'isolement due à des conditions d'ambiance défavorables (par exemple les dépôts de poussière conductrice, l'agression chimique).

12.7.7 Subdivision du système conducteur

Si des câbles conducteurs ou des barres conductrices sont mis en œuvre de manière qu'ils puissent être subdivisés en sections isolées, des mesures de conception appropriées doivent être prises afin d'empêcher la mise sous tension des sections adjacentes par les collecteurs de courant eux-mêmes.

12.7.8 Construction et installation des systèmes à câbles conducteurs, à barres conductrices et des assemblages glissants

Les câbles conducteurs, les barres conductrices et les assemblages glissants des circuits de puissance doivent être groupés séparément de ceux des circuits de commande.

Les câbles conducteurs, les barres conductrices et les assemblages glissants doivent résister sans dommages aux contraintes mécaniques et thermiques des courants de court-circuit.

Les couvercles démontables des systèmes de câbles conducteurs et de barres conductrices sous le sol ou le plancher doivent être conçus pour ne pas pouvoir être ouverts par une personne sans l'aide d'un outil.

Si des collecteurs à barres sont installés dans une enveloppe métallique commune, les sections individuelles de l'enveloppe doivent être reliées entre elles et raccordées à un conducteur de protection en plusieurs endroits en fonction de leur longueur. Les couvercles métalliques des collecteurs à barres situés sous le sol ou le plancher doivent être aussi reliés entre eux et raccordés à un conducteur de protection.

NOTE Pour la liaison de protection à la fois des couvercles ou plaques de recouvrement des enveloppes métalliques ou conduits sous plancher, la continuité assurée par les gonds métalliques est considérée suffisante.

Les conduits des barres conductrices enterrées ou sous plancher doivent être drainés.

13 Pratiques du câblage

13.1 Raccordement et cheminement

13.1.1 Exigences générales

Tous les raccordements, en particulier ceux du circuit de protection, doivent être protégés contre un desserrage accidentel.

Les moyens de raccordement doivent être adaptés à la section et à la nature des conducteurs à raccorder.

Le raccordement de deux conducteurs ou plus à une borne de raccordement n'est admis que si la borne est conçue à cet effet. Cependant, un seul conducteur de protection doit être raccordé à une borne de raccordement.

Les connexions soudées ne sont admises que sur les bornes prévues à cet effet.

Les bornes sur les blocs de jonction doivent être clairement repérées afin de correspondre aux indications des schémas.

Lorsqu'un raccordement électrique incorrect (par exemple, résultant du remplacement d'appareils) peut être une source de risque et qu'il n'est pas aisé de réduire la possibilité de raccordement incorrect par des mesures de conception, les conducteurs et/ou les terminaisons doivent être identifiés selon 13.2.1.

L'installation de conduits souples et de câbles souples doit être telle que les liquides s'écoulent à l'extérieur à partir des accessoires.

Des moyens de rétention des brins de conducteur doivent être prévus pour raccorder des conducteurs à des dispositifs ou à des bornes ne comportant pas cette possibilité. La soudure ne doit pas être utilisée pour cet usage.

Les extrémités des conducteurs blindés doivent être préparées de façon à éviter un effilochage des brins et permettre un débranchement facile.

Les étiquettes pour le repérage doivent être lisibles, inamovibles et résistantes aux conditions d'environnement.

Les blocs de jonction doivent être raccordés et montés de telle façon que les câblages internes et externes ne dépassent pas les bornes (voir la CEI 60947-7-1).