

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Railway applications – Rolling stock – Rules for installation of cabling

Applications ferroviaires – Matériel roulant – Règles d'installation du câblage

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62995:2018



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2018 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 21 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

Recherche de publications IEC - webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 21 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Railway applications – Rolling stock – Rules for installation of cabling

Applications ferroviaires – Matériel roulant – Règles d'installation du câblage

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 45.060.01

ISBN 978-2-8322-5640-4

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

CONTENTS

FOREWORD.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms, definitions and abbreviated terms	9
3.1 Terms and definitions.....	9
3.2 Abbreviated terms.....	12
4 Technical requirements	12
4.1 General requirements	12
4.2 Selection of type and size of cables	12
4.2.1 General	12
4.2.2 Selection of cable size for control cables	14
4.2.3 Selection of cable size for cables for power distribution, on the basis of continuous load current	14
4.2.4 Selection of cable size for cables for power distribution, on the basis of rating of protection device	18
4.2.5 Motor cables.....	19
4.2.6 Cables for protective bonding	19
4.2.7 Cables used under short time current (below 5 s)	19
4.3 Bundling of cables	20
4.4 Flexibility of cables	20
4.5 Minimum cross-sectional area of conductors.....	20
4.6 Use of green and yellow colour	21
4.7 Bending radii and other mechanical requirements	21
4.8 Re-termination	23
4.9 Busbars	23
4.10 Connections to busbars.....	24
4.11 Separation of cables with different voltage levels and for safety reasons	24
4.12 Provisions for refurbishment and maintenance, including inspection and repair	25
4.13 Fire prevention, cable laying and cabling behaviour in case of fire	26
4.14 Provision of spares	27
4.14.1 Provision of spares for control cabling	27
4.14.2 Provision of spares for auxiliary power distribution cabling	27
4.15 Requirements for fixing	28
4.16 Clearances and creepage distances.....	28
4.17 Requirements for electrical terminations	29
4.17.1 General	29
4.17.2 Electrical terminations at the cable ends.....	29
4.17.3 Electrical terminations at the terminal or device side	30
4.18 Use of heat-shrinkable sleeves	31
4.19 Connections for return current	32
4.20 Storage of cables.....	32
4.21 Cable conduits.....	32
4.22 Electrical bolted connections.....	33
5 EMC requirements.....	35
5.1 General.....	35
5.2 Cable categories.....	35

5.3	Separation of cables	36
5.4	Return conductor	36
5.5	Use of conductive structure	37
5.6	Shielding and earthing	37
5.7	Supply connection from battery	37
5.8	Databus lines	37
6	Marking for identification	38
6.1	General	38
6.2	Marking for identification of cables and busbars	38
6.3	Marking for identification of terminal blocks, individual terminals, plugs and sockets	39
6.4	Marking of insulators	39
6.5	Marking for warning against electrical shock	39
6.6	Marking using heat-shrinkable sleeves	39
7	Testing	39
7.1	General concerning testing	39
7.2	Electrical insulation tests	40
7.2.1	General	40
7.2.2	Voltage withstand test	40
7.2.3	Insulation impedance test	42
Annex A (normative)	Cable sizing – Calculation under short time current conditions	43
Annex B (informative)	Cable sizing – Examples of current ratings	44
Annex C (normative)	Cable sizing – Calculating current ratings for temperature classes other than 90 °C	46
Annex D (normative)	Cable sizing – Correction factor k_1 for expected ambient temperature	47
Annex E (informative)	Cable sizing – Cable thermal lifetime expectation	48
E.1	General cable lifetime considerations	48
E.2	Reducing cable lifetime	49
E.3	Increasing cable lifetime	50
Annex F (informative)	Cable sizing – Calculation examples	51
F.1	Cables sizing calculation examples	51
F.1.1	General	51
F.1.2	Example 1	51
F.1.3	Example 2	52
F.1.4	Example 3	52
F.2	Cables sizing calculation recommendation	53
Annex G (informative)	Terminations	55
G.1	Methods of terminating cables	55
G.2	Tensile strength test values	60
Annex H (normative)	Tests on marking when using heat-shrinkable sleeves	62
H.1	General	62
H.2	Preparation of specimens	62
H.3	Testing of specimens	62
H.4	Result of test	62
Annex I (informative)	Effects of the number of earth connections to a cable screen	63
Annex J (informative)	Differences of electrochemical potentials between some conductive materials	64

Annex K (informative) Locations on board rolling stock to be distinguished	65
Bibliography	67
Figure 1 – Example of short-circuit condition where cable size has influence on protection device behavior	14
Figure 2 – Cable grouping and installation conditions	18
Figure 3 – Locations in rolling stock, concerning use of minimum cross-sectional areas for conductors	21
Figure 4 – Definition of internal bending radius	22
Figure 5 – Examples of mechanical protection of cabling	23
Figure 6 – Separation of cables by required distance: $D > 2d$ and $D > 0,1 \text{ m}$	25
Figure 7 – Examples of separation of cables by barriers or by insulation	25
Figure 8 – Dimensions for calculating the effective area of a contact (example for a cable lug)	31
Figure 9 – Example of sequence order of elements belonging to a bolted connection (nut) ...	34
Figure 10 – Example of sequence order of elements belonging to a bolted connection (bolt)	34
Figure 11 – Example of sequence order of elements belonging to a bolted connection (bolt + nut)	35
Figure 12 – Examples of cable or plug constructions where identification is done by configuration	38
Figure K.1 – Distinguishing locations on board rolling stock	65
Table 1 – Modification factor k_5 for individual cores within a multi-core cable	16
Table 2 – Modification factor k_2 for installation type (grouping and installation conditions)	17
Table 3 – Selection of cable conductor size on the basis of rating of protection device	19
Table 4 – Minimum internal bending radii R for static applications	22
Table 5 – Cable categories with respect to EMC	36
Table 6 – Minimum distances between cables of different EMC categories	36
Table 7 – Test voltages according to on-board voltages	41
Table 8 – Test voltages according to supply line voltages	42
Table A.1 – Modification factor k_4	43
Table B.1 – Examples of current ratings for standard wall cables, with 90 °C maximum conductor operating temperature	44
Table C.1 – Factor k^* , used when comparing current ratings for 90 °C maximum conductor operating temperature with other temperature classes	46
Table D.1 – Modification factor k_1	47
Table E.1 – Temperature for expected lifetime	49
Table E.2 – Examples of values of correction factor k_3 to allow for decrease in predicted cable lifetime for a 90 °C cable	49
Table F.1 – Recommended short-circuit current ratings for rolling stock cables of 90 °C maximum conductor temperature	53
Table F.2 – Value of K	54
Table G.1 – Methods of terminating cables – Conductor side	55
Table G.2 – Methods of terminating cables – Terminal side – Crimp connections	56

Table G.3 – Methods of terminating cables – Terminal side – Screwed and bolted connection	57
Table G.4 – Methods of terminating cables – Terminal side – Connection by clamping	58
Table G.5 – Methods of terminating cables – Terminal side – Connection by insulation displacement or penetration	59
Table G.6 – National standards for termination methods	60
Table G.7 – Pull out force for crimp connections	61
Table H.1 – Preparation of heat-shrinkable sleeve for test of marking quality	62
Table I.1 – Effects of shielding	63
Table J.1 – Differences of electrochemical potentials between some conductive materials (in mV)	64
Table K.1 – Distinguishing locations on board rolling stock	66

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62995:2018

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RAILWAY APPLICATIONS – ROLLING STOCK –
RULES FOR INSTALLATION OF CABLING****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62995 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways.

This standard is based on EN 50343:2014 and EN 50343 A1:2017.

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

FDIS	Report on voting
9/2378/FDIS	9/2406/RVD

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

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62995:2018

RAILWAY APPLICATIONS – ROLLING STOCK – RULES FOR INSTALLATION OF CABLING

1 Scope

This document specifies requirements for the installation of cabling on railway vehicles and within electrical enclosures on railway vehicles, including magnetic levitation trains and trolley buses.

NOTE With respect to trolley buses, this document applies to the whole electric traction system, including current collecting circuits, power converters and the respective control circuits. The installation of other circuits is covered by street vehicle standards for example those for combustion driven buses.

This document covers cabling for making electrical connections between items of electrical equipment, including cables, busbars, terminals and plug/socket devices. It does not cover special effect conductors, such as fibre optic cables or hollow conductors (waveguides).

The material selection criteria given herein are applicable to cables with copper conductors.

This document is not applicable to the following:

- special purpose vehicles, such as track-laying machines, ballast cleaners and personnel carriers;
- vehicles used for entertainment on fairgrounds;
- vehicles used in mining;
- electric cars;
- funicular railways.

2 Normative references

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

IEC 60228, *Conductors of insulated cables*

IEC 60332-1-2, *Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-2: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Procedure for 1 kW pre-mixed flame*

IEC 60332-3-24, *Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 3-24: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables – Category C*

IEC 60332-3-25, *Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 3-25: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables – Category D*

IEC 60352 (all parts), *Solderless connections*

IEC 60364-5-54:2011, *Low-voltage electrical installations – Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements and protective conductors*

IEC 60684-3-212, *Flexible insulating sleeving – Part 3: Specifications for individual types of sleeving – Sheet 212: Heat-shrinkable polyolefin sleeveings*

IEC 60684-3-216, *Flexible insulating sleeving – Part 3: Specifications for individual types of sleeving – Sheet 216: Heat-shrinkable, flame-retarded, limited-fire hazard sleeving*

IEC 60684-3-271, *Flexible insulating sleeving – Part 3: Specifications for individual types of sleeving – Sheet 271: Heat-shrinkable elastomer sleeveings, flame retarded, fluid resistant, shrink ratio 2:1*

IEC 60695-7-2:2011, *Fire hazard testing – Part 7-2: Toxicity of fire effluent – Summary and relevance of test methods*

IEC 60757, *Code for designation of colours*

IEC 61034-2, *Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 2: Test procedure and requirements*

IEC 61133:2016, *Railway applications – Rolling stock – Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service*

IEC 61180, *High-voltage test techniques for low-voltage equipment – Definitions, test and procedure requirements, test equipment*

IEC 61991, *Railway applications – Rolling stock – Protective provisions against electrical hazards*

IEC 62236-3-1, *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 3-1: Rolling stock – Train and complete vehicle*

IEC 62236-3-2, *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 3-2: Rolling stock – Apparatus*

IEC 62497-1, *Railway applications – Insulation coordination – Part 1: Basic requirements – Clearances and creepage distances for all electrical and electronic equipment*

IEC 62498-1, *Railway applications – Environmental conditions for equipment – Part 1: Equipment on board rolling stock*

IEC 62847, *Railway applications – Rolling stock – Electrical connectors – Requirements and test methods*

3 Terms, definitions and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

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

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

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

3.1.1

insulated cable

assembly consisting of

- one or more cores (screened or unscreened),
- their individual covering(s) (if any),
- assembly protection (if any),
- screen(s) (if any),
- sheath (if any)

3.1.2

conductor <of a cable>

part of a cable which has the specific function of carrying current

[SOURCE: IEC 60050-461:2008, 461-01-01]

3.1.3

core

assembly comprising a conductor with its own insulation (and screens if any)

[SOURCE: IEC 60050-461:2008, 461-04-04, modified – The note has been deleted.]

3.1.4

solid conductor

conductor consisting of a single wire

[SOURCE: IEC 60050-461:2008, 461-01-06, modified – The note has been deleted.]

3.1.5

stranded conductor

conductor consisting of a number of individual wires or strands all or some of which generally have a helical form

[SOURCE: IEC 60050-461:2008, 461-01-07, modified – The notes have been deleted.]

3.1.6

busbar

conductor consisting of a rigid metal profile

3.1.7

screen <of a cable>

conducting layer(s) having the function of control of the electromagnetic field within the cable and/or to protect the cable from external electromagnetic influences

3.1.8

bundle

group of cables tied together

3.1.9

bolted connection

connection in which the pressure to the conductor is applied by bolting

[SOURCE: IEC 60050-461:2008, 461-19-05]

3.1.10**crimp**

cable termination in which a permanent connection is made by applying pressure, inducing the deformation or reshaping of a barrel part of the termination around the conductor

3.1.11**spring-clamp connection**

terminal connection in which the pressure between the conductor and terminal is applied by a spring

3.1.12**penetration <connection>**

terminal connection in which the contact with the conductor is achieved by jaws which penetrate the insulation

3.1.13**plug**

connector intended to be coupled at the free end of an insulated conductor or cable, to be inserted into a matching socket, or readily removed when required

3.1.14**socket**

connector intended to be mounted on a rigid surface and to hold a matching plug, such that the conductors contained within the socket make electrical contact individually with those in the plug

3.1.15**heat-shrinkable sleeve**

tube that on exposure to heat during installation, will at a critical temperature, permanently reduce in diameter, while increasing in wall thickness

3.1.16**manufacturer**

organisation that has the responsibility for the supply of vehicle(s), equipment or groups of equipment to the purchaser

3.1.17**purchaser**

organisation that orders the vehicle or equipment or groups of equipment and has the responsibility for direct negotiations with the manufacturer

3.1.18**cable tie**

mechanical construction needed for either keeping cables or assemblies of cables together, or for attaching them in a defined place

3.1.19**short time current**

certain operation case where an electrical circuit carries a current that will introduce an amount of heat into the electrical circuit, which in general will increase its temperature

Note 1 to entry: "Short time" means that the heat exchange against the surrounding material is not significant.

3.2 Abbreviated terms

AC	alternating current
CSA	cross-sectional area
DC	direct current
EMC	electromagnetic compatibility
IP	international protection (ingress protection)
RMS	root mean square
UV	ultraviolet

4 Technical requirements

4.1 General requirements

Cables and installation materials shall be type tested, selected for size and installed so as to be suitable for their function under their operating conditions. Size and installation of cables (including busbars and bare conductors) shall take into account the particular stresses to be expected in rolling stock. The materials used and methods of cabling shall be such as to prevent strain or chafing, and excessive lengths of unsupported cable shall be avoided.

Cables on rolling stock shall not be used for any purpose other than for transmission, distribution and collection of electrical energy, electrical controls or monitoring systems. All components of cabling shall be selected, installed, protected, used and maintained so as to prevent danger (e.g. electrical or fire hazard, EMC problems).

The electrical connections shall be made in such a way that they cannot be unintentionally disconnected or interrupted during service.

Effects that have impact on electrical connections and should be considered are at least:

- the thermal effects,
- the dynamic loads, as shock, vibration, car-body motions, and
- the material creepage.

For consideration of environmental conditions, IEC 62498-1 shall apply.

When considering operating conditions and environmental conditions, the locations as presented in Annex K should be taken into account.

For correct use of connectors, IEC 62847 shall apply.

For protection against electrical hazard, the cabling installed shall be in accordance with IEC 61991.

4.2 Selection of type and size of cables

4.2.1 General

When selecting cables or busbars, the expected operating conditions should be taken into account. These should include, but are not limited to, the following parameters:

- voltage;
- current;
- higher harmonics by electronical converters (skin-effect);
- overload current;

- short time current;
- voltage drop;
- short-circuit current;
- shape and frequency of current;
- fusing characteristic of the protection device;
- grouping of cables;
- ambient temperature and temperature due to load current;
- methods of installation;
- predicted cable lifetime;
- presence of rain or steam or snow, or accumulation of condensing water;
- presence of corrosive, polluting or damaging substances;
- mechanical stresses;
- radiation such as sunlight.

Consideration should be given to the expected lifetime of the cabling compared with the expected lifetime of the vehicle.

The cable type (i.e. cable family) shall be selected according to relevant standards as applicable.

NOTE 1 For example EN 50264 (all parts), EN 50382 (all parts), EN 50306 (all parts) and EN 45545 (all parts).

Consideration should be given to the fire safety requirements of cables and cabling.

Cables for power, control and associated circuits, in the event of fire, shall limit the risk to people and improve the safety on railways in general. It covers sheathed and unsheathed cables with insulation and sheath based on halogen free crosslinked materials, for use in railway rolling stock. In the event of a fire affecting cables, they have a limited flame spread and limited emission of toxic gases. In addition, these cables, when burnt, produce limited amounts of smoke, which minimises loss of visibility in the event of a fire and aids reduced evacuation times. Using crosslinked halogen free materials in accordance with IEC 63010-2:2017, 5.3, is recommended.

Cables and cabling shall conform to the fire safety requirements specified in relevant standards.

NOTE 2 For example EN 45545-2, EN 45545-3 and EN 45545-5.

Once the cable type has been selected, the selection of conductor size (if the cable is intended for power distribution) shall be based on either load current and current carrying capacity calculated in accordance with 4.2.3, or based on protection device size in accordance with 4.2.4.

Short-circuit conditions and overload conditions should be checked with respect to the fusing characteristic of the protection device and the resistance of the chosen cable. See example in Figure 1.

Short-circuit conditions should be checked according to 4.2.7.

This short-circuit or overload case should be checked according to the following requirement.

Normal load is less than nominal current rating of protection device, while nominal current rating of protection device is less than or equal to current carrying capacity of the cable (I_{corr} , see definition in 4.2.3 b)).

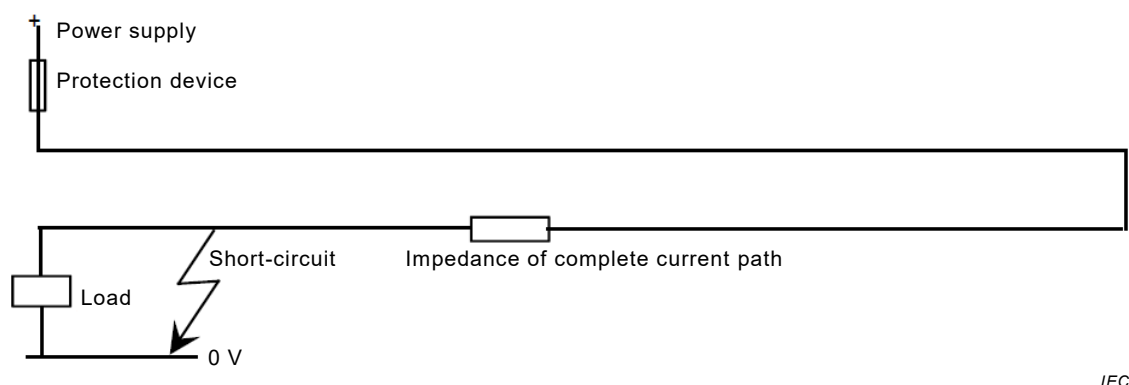


Figure 1 – Example of short-circuit condition where cable size has influence on protection device behavior

The cross-sectional area of any conductor shall be not less than the value specified in 4.5.

The number of different types of cables installed on any type of vehicle should be minimized for practical reasons.

4.2.2 Selection of cable size for control cables

Control cables, which are intended to carry control and data signals only, shall have a minimum conductor cross-sectional area as specified in 4.5. This is also valid if the load current would make a smaller cross-sectional area possible.

The cable sizes are selected on the general basis of a nominal current rating of 5 A/mm² of conductor; therefore it is not necessary for the conductor size of these cables to be selected according to 4.2.3. However, as these cables are thermally capable of operating with a conductor temperature of 105 °C, advantage of this can be taken for certain applications. In these cases, the advice of the cable manufacturer should be asked for.

4.2.3 Selection of cable size for cables for power distribution, on the basis of continuous load current

4.2.3 specifies a method for calculation of continuous maximum load current, of time duration longer than 5 s, of different cable sizes dependent on their method of installation and ambient temperature, to enable cables to be selected so as to ensure that the predicted lifetime is achieved.

For short time current, up to 5 s, see 4.2.7.

Correction factors from cable manufacturers should not be combined with correction factors given in this document, in order to avoid miscalculation or oversizing.

The continuous maximum conductor temperature for the cable types is given, for example, 90 °C, 105 °C, 120 °C, 150 °C. This is based either on proven experience and reliability over many years or, in the case of newer, less well defined insulations, upon an acceptance test, using long-term thermal endurance ageing to demonstrate a lifetime of at least 20 000 h at, for example, 110 °C, 125 °C, 140 °C, 170 °C respectively (i.e. 20 °C above the continuous rating). Data from this thermal testing can, with care, be extrapolated to the conductor temperature to provide a predicted lifetime of the cable when continuously loaded. This predicted lifetime may be used in conjunction with the known duty cycle of the vehicle, and its predicted time out of service, to estimate the ability of the cable to function reliably for the predicted lifetime of the whole vehicle.

NOTE 1 Because the cable standards allow a variety of solutions for insulation type, it is important to confirm lifetime extrapolations with the cable manufacturer.

NOTE 2 An expected lifetime of cable of 100 000 h is used as a theoretical basis value for cables according to EN 50264 (all parts), EN 50306 (all parts) or EN 50382 (all parts), and their specific maximum conductor temperature at continuous operation.

4.2.3 only deals with thermal degradation of insulation material, and it should be noted that mechanical stresses (bending, wear, etc.) and other environmental factors (for example, presence of fluids such as cleaning detergents, or aggressive atmosphere) may be the limiting factor determining predicted cable lifetime.

For cables intended for power distribution, the cable size shall be selected on the basis of the load current and the current carrying capacity in accordance with the following procedure (i.e. the three steps a), b) and c)).

a) Load current

The load current I_{load} , in amperes (A), which a cable has to carry for sustained periods during normal service, shall be a basic value for cable sizing.

When the circuit(s) being supplied by the cable is in continuous or sustained cyclic operation, I_{load} shall be calculated according to the following formula:

$$I_{\text{load}} = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int i^2 dt}$$

where

t_1 is the duration of a typical duty cycle during service, in minutes (min);

i is the instantaneous current, including overload, if any, in amperes (A).

NOTE 3 For continuous direct current operation, the above formula has the simple form $I_{\text{load}} = i$.

When operation is not continuous or sustained cyclic, I_{load} shall be calculated according to Annex A.

b) Current carrying capacity

The permissible continuous current carrying capacity I_{cable} in amperes (A) of a single-core cable or a single core within a multi-core cable being operated in free air shall be another basic value for cable sizing. A particular value of I_{cable} is valid for a particular reference ambient temperature T_{ref} and for a particular maximum conductor temperature in service, $T_{\text{c(max)}}$.

I_{cable} within the reference values T_{ref} and $T_{\text{c(max)}}$, shall be those provided by the cable manufacturer.

Examples for I_{cable} for single-core cables are presented in Annex B.

I_{cable} for maximum conductor temperatures other than $T_{\text{c(max)}} = 90^\circ\text{C}$ shall be calculated according to Annex C.

The current carrying capacity of the cable in service, I_{corr} , in amperes (A), shall be calculated from I_{cable} using correction factors k_1 , k_2 , k_3 , k_4 , k_5 , in accordance with the following formula:

$$I_{\text{corr}} = I_{\text{cable}} \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5$$

where

k_1 is a correction factor for the expected ambient temperature. It shall be calculated according to the following formula:

$$k_1 = \sqrt{\frac{T_{\text{c(max)}} - T}{T_{\text{c(max)}} - T_{\text{ref}}}}$$

where

$T_{c(max)}$ is the maximum conductor temperature, in degrees Celsius (°C), in service, which will allow the predicted lifetime of the cable to be achieved;

T is the estimated value of the actual ambient temperature, in degrees Celsius (°C) during operation, on the outside of the bundle or of the tube – if any. T is an average value;

T_{ref} is the reference ambient temperature, in degrees Celsius (°C), for which the I_{cable} value is valid.

Examples of k_1 values are given in Table D.1.

k_2 is a correction factor for installation type (grouping and installation conditions).

Values for k_2 given in Table 2 shall be used. Interpolation between the different number of cables in Table 2 is allowed.

k_3 is a correction factor to allow for a decrease in predicted cable lifetime, calculated according to the formula in Clause E.2. In all cases where the standard predicted cable lifetime shall be used, the value of k_3 shall be 1,0.

k_4 is a correction factor to take into account short time current when operation is not continuous, calculated according to the procedure in Annex A. When operation is continuous, the value of k_4 shall be 1,0.

k_5 is a correction factor for multi-core cables; the correction factor k_5 is applicable for each individual core within a multi-core cable. Values for k_5 are given in Table 1. Interpolation between the different number of loaded cores in Table 1 is allowed. When single-core cables are used, the value of k_5 shall be 1,0. If single-core cables and multi-core cables are lying together on the same cable tray, open or close, by the correction factor k_5 , different values for I_{corr} are obtained for single-core cables and multi-core cables.

Table 1 – Modification factor k_5 for individual cores within a multi-core cable

Number of loaded cores	2	3	4	5	7	9	12	19
Correction factor k_5	0,91	0,78	0,63	0,59	0,51	0,46	0,41	0,38
NOTE Interpolation between the different number of loaded cores could be negotiated with cable manufacturer.								

c) Selection of cable size

The cable size shall be selected such that the current carrying capacity of the cable in service, calculated in accordance with item b) above, is greater than or equal to the predicted load current, calculated in accordance with item a), i.e.:

$$I_{load} \leq I_{corr}$$

The minimum cross-sectional area of the conductor shall be as specified in 4.5.

Combining the formulae from 4.2.3 a) and b) and c), would lead to the following formula:

$$I_{cable} \geq \frac{I_{load}}{k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5}$$

This formula will in practice be more easy to use, because in cases with defined cable type and defined load conditions, the last term is constant and so it is easy to find the right cable size via I_{cable} in the current ratings table (see examples in Table B.1).

For a calculation example, refer to Annex F.

**Table 2 – Modification factor k_2 for installation type
(grouping and installation conditions)**

Number of cables being simultaneously loaded	Installation type							
	Cable in free air Type a)	Cables on trays, in one layer Type b)	Cables on trays, in two layers	Cables on trays, in several layers Type c)	Cables on the floor or on a wall Type d)	Cables on a ceiling or under floor Type e)	Cables in a closed tube, conduit or tray Type f)	Cables in a closed tube or conduit, thermally insulated Type g)
1 single cable	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,95	0,95	0,76
2 cables together	-	0,87	0,87	0,87	0,85	0,81	0,80	0,61
3 cables together	-	0,83	0,83	0,78	0,79	0,72	0,70	0,53
4 cables together	-	0,78	0,71	0,71	0,75	0,68	0,65	0,49
8 cables together	-	0,74	0,59	0,52	0,75	0,62	0,52	0,40
12 cables together	-	0,73	0,54	0,45	0,75	0,61	0,45	0,34
16 cables together	-	0,72	0,51	0,41	0,75	0,61	0,41	0,31
20 cables and more together	-	0,71	0,47	0,38	0,75	0,61	0,38	0,29

Details of installation types are as follows:

Type a) One single cable in free air with heat dissipation into the surrounding air ensured by all the following measures:

- distance between the cable and adjacent walls over, under or beside: at least equal to the cable diameter;
- distance between the cable and any other cable lying beside it in any direction: at least equal to the sum of its own cable diameter and the adjacent cable diameters;
- cable lying in an open tray or ladder support with perforations, the total area A in Figure 2 of the perforations being at least 15 % of the total supporting area in case of metallic tray or support with good thermal contact to car-body (otherwise at least 30 %), and without any cover.

Type b) Cables lying in one layer, touching each other, on an open tray or ladder support, with perforations as for type a).

Type c) As for type b) but cables in several layers over each other.

Type f) Cables lying in bundles in closed tubes, closed trays or boxes without significant air flow.

Type g) As for type f), but for thermally completely insulated closed tubes, closed trays or boxes.

Current flowing through the screen (e.g. motor cables and brake resistors) should be calculated as an additional conductor.

NOTE Installation types a), b), c), d), e), f) and g) are illustrated in Figure 2.

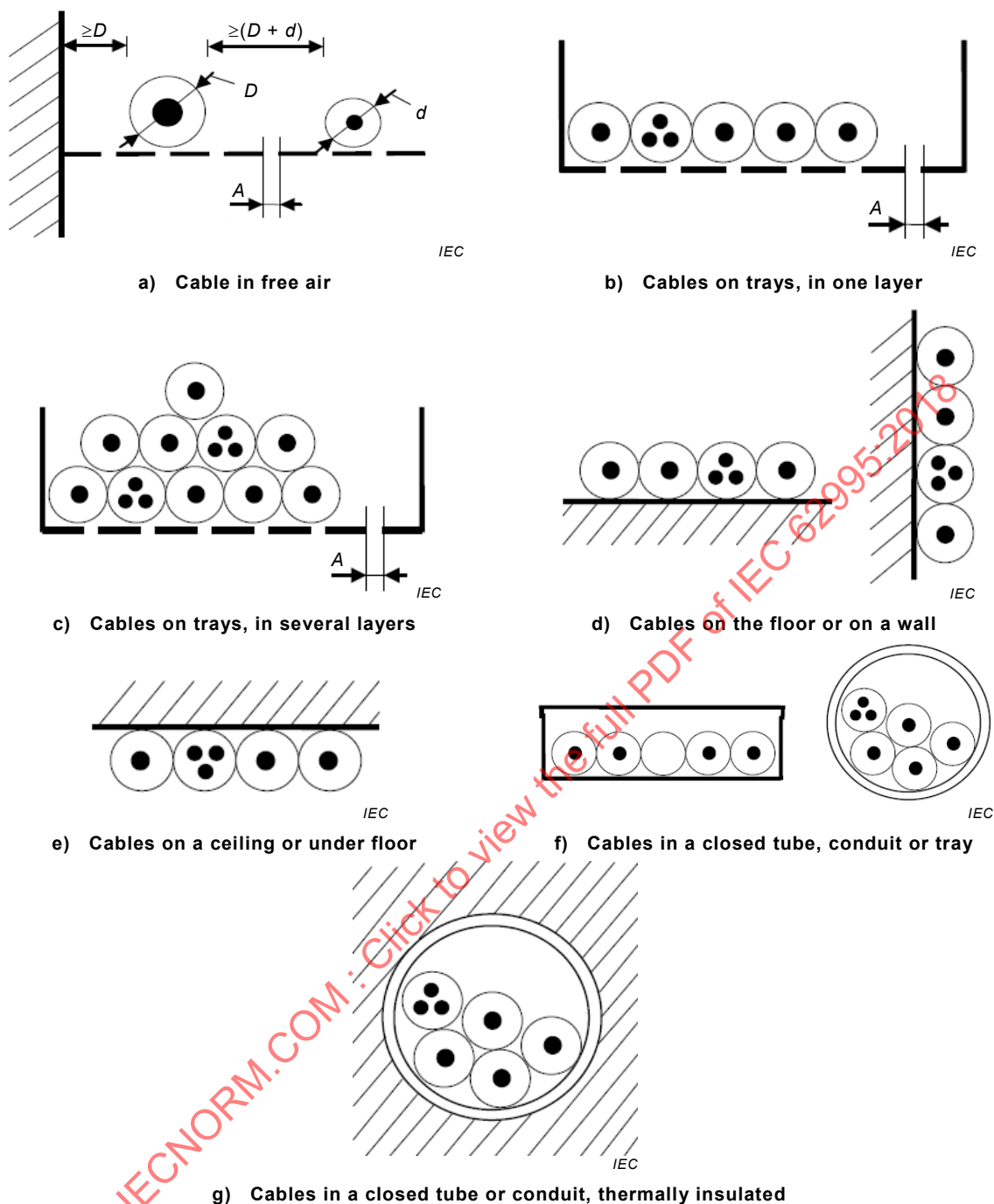


Figure 2 – Cable grouping and installation conditions

4.2.4 Selection of cable size for cables for power distribution, on the basis of rating of protection device

In cases where the load current I_{load} is not exactly defined, the rating of the protection device may be chosen according to the maximum load current that can be expected. The conductor size shall then be selected according to the rating of protection device in accordance with Table 3. This applies to all cable types with $T_{c(max)}$ of at least 90 °C, at an ambient temperature of maximum 45 °C.

NOTE This method is simple but has disadvantages (the possibility of increase of weight, required space and costs of cables).

Table 3 – Selection of cable conductor size on the basis of rating of protection device

Rating of protection device	Nominal cross-sectional area of conductor	
	mm ²	
A	Up to 4-core cables, or bundles of max. 4 cables, on open trays or in free air	Up to 4 cables in a closed tube
6	1,0	1,0
10	1,0	1,5
16	1,5	2,5
20	2,5	4,0
25	4,0	6,0

4.2.5 Motor cables

Traction motor cables shall be sized according to the procedure specified in 4.2.3. For cables in motion during operation, higher flexibility of cables should be considered when selecting cable type (i.e. class 6 in accordance with IEC 60228).

4.2.6 Cables for protective bonding

Cables for protective bonding shall be sized and installed according to the rules described in IEC 60364-5-54:2011, Clause 543. IEC 60364-5-54 deals with general rules for electrical equipment. The requirements of IEC 61991 shall be fulfilled.

In IEC 60364-5-54:2011, 543.1.2, a formula for minimum cross-sectional areas of protective conductors applicable for disconnecting times not exceeding 5 s is given.

4.2.7 Cables used under short time current (below 5 s)

For cables loaded with a short time current (below 5 s), CSA shall be sized such that the end temperature does not exceed a temperature of 20 °C over the conductor operating temperature of the insulation. Lifetime, in this case, is reduced to at least 20 000 h of cumulated operation.

For dimensioning of cables for short time current within the scope of this document, the formula given in IEC 60364-5-54:2011, 543.1.2, should also be used.

EXAMPLE Conductors for thermal engine starters.

k factors for bare conductors are given in IEC 60364-5-54:2011, Table A.54.6.

k factors and short-circuit ratings for rolling stock cables are given in Annex F.

For any other material of the conductor, the insulation and other parts, and the initial and final temperatures, the k factor shall be calculated or be given by the cable manufacturer.

For calculation of k , see IEC 60364-5-54:2011, Annex A.

NOTE The k factors referred to in 4.2.7 and in the formulae in IEC 60364-5-54:2011, 543.1.2, and in EN 50355 have a different meaning than the k factor used in this document.

For a calculation example, refer to Annex F.

4.3 Bundling of cables

If several cables are to be laid together as a bundle, the following factors shall at least be taken into consideration:

- thermal requirements (see 4.2.3);
- EMC requirements (see 5.2);
- rated voltages (see 4.11);
- mechanical aspects, such as strength of bundle, weight of bundle, available space and relative movement and tension forces;
- fixing points (see 4.15).

If cables with different cross-sectional area are to be bundled together, the mechanical stresses should be considered.

4.4 Flexibility of cables

If high flexibility is required, stranded conductors of class 6 in accordance with IEC 60228 or special designed cables should be used.

In all other cases, stranded conductors of class 5 in accordance with IEC 60228 or conductors defined in relevant standards shall be used (see also 4.7).

NOTE 1 For example conductors defined in EN 50306.

High flexibility is required in case of car-to-car or car-to-bogie cabling, i.e. locations 5, 6 and 7 in Annex K, and for equipment which may have relative cabling movements between internal parts, for example doors, shoe gears.

NOTE 2 Internal connections of, for example, electronic devices, use single solid conductors of class 1 in accordance with IEC 60228 (e.g. for wire wrap connections) if there is no risk of fatigue failure or if precautions have been taken to avoid this risk.

When higher flexibility of a bundle is required, the nominal cross-sectional area of each individual cable should be selected with respect to its individual load current. In many cases, the smaller the cross-section of a conductor, the more flexible the cable is.

4.5 Minimum cross-sectional area of conductors

Single-core cables laid separately, or cables laid side by side, connecting electrical components in different locations inside rolling stock vehicles (e.g. for connections between locations A, B and C as shown in Figure 3) shall have a nominal conductor cross-sectional area of at least 1,0 mm².

Higher minimum cross-sections may be necessary due to, for example:

- voltage drop,
- load current, and
- mechanical strength.

Special care should be taken on minimum cross-sectional area in order to achieve the necessary mechanical strength for car-to-car or car-to-bogie cabling, i.e. locations 5, 6 and 7 in Annex K.

It is permitted to use smaller cross-sectional areas under the following conditions:

- for internal wiring in racks or assemblies, or in electronic equipment or precabled devices, if the circuit is protected against overload and if the mechanical strength is given (e.g. inside A or B or C as shown in Figure 3);

- for multi-core cables, bundled cables, databus connections, etc., if the mechanical strength is provided and if the load current in all operational cases allows this;
- for devices specified and tested as a complete unit for use in rolling stock.

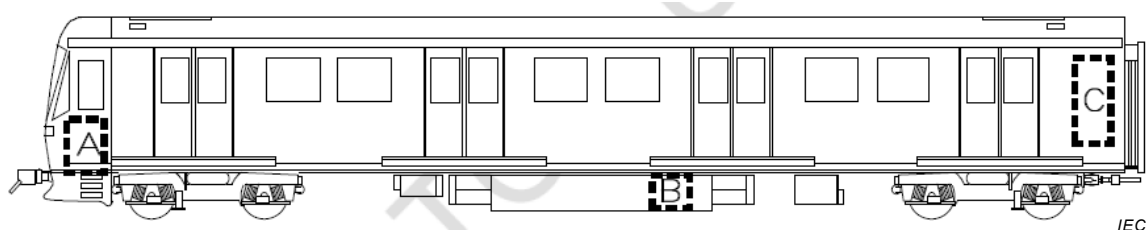


Figure 3 – Locations in rolling stock, concerning use of minimum cross-sectional areas for conductors

4.6 Use of green and yellow colour

Conductors of a protective equipotential bonding system whether insulated or bare, shall be readily distinguishable by shape, location, marking or colour. If identification by colour is used, it shall be the bicolour combination green-and-yellow.

If the use of a conductor for protective equipotential bonding is obvious, for example at bogies, it is allowed to identify protective equipotential bonding by other means than colour.

The green/yellow core of a multi-core cable, if any, shall not be used for purposes other than protective equipotential bonding.

Individual cores in multi-core cables not used for protective equipotential bonding may be either green or yellow.

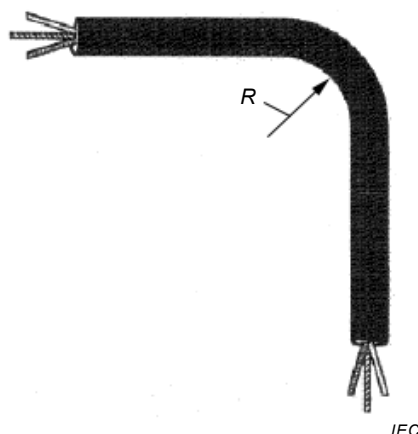
4.7 Bending radii and other mechanical requirements

Cables shall be installed so that the minimum bending radii for fixed-installation cables and cables which are flexing during service are not less than those given in the relevant product information or cable standard.

In a bundle, for example consisting of cables having different diameters, the minimum bending radii for the bundle shall be that of the cable having the highest bending radii.

Examples for bending radii are given in Table 4.

The definition of the internal bending radius is as given in Figure 4.



Key

R internal bending radius

Figure 4 – Definition of internal bending radius

Table 4 – Minimum internal bending radii R for static applications

Cable diameter mm	≤ 12	> 12
Unscreened cables	$4D$	$5D$
Screened cables	$10D$	$10D$
Minimum bending radii given by the cable manufacturer shall prevail. NOTE 1 D is the overall cable diameter. NOTE 2 Screened cables can be protected by inner or outer screen. Inner screen is pressed beneath outer sheath/jacket and increases the bending radii due to mechanical pressure and friction above and under the screen; Outer screen is located outside the cable and slides on the sheath/jacket without being squeezed, with less pressure and less friction surface which leads to better bending radius and flexibility. NOTE 3 Values are based on EN 50355:2013, Table 16.		

The cable material should be considered carefully with respect to its ability to resist the effects of dynamic movement. Excessive forces on the installation devices used – for example fastening clamps and termination points – should be avoided as far as possible, for example by using extra fixing means or more flexible cables.

In high vibration environmental conditions (e.g. in the diesel engine compartment or location 6 and 7 in Annex K) thin wall cables should not be used inside a non-metallic flexible conduit if they are not in addition mechanically protected by sleeves, braided hoses, etc. The abrasion protection sleeve should be able to protect the thin wall cables not only during installation inside the conduit but also throughout the life on the vehicle.

NOTE 1 Thin wall cables are detailed in EN 50306-2; mechanical stresses are detailed in EN 50355.

NOTE 2 The bending radius can influence the EMC effects of screened cables.

All cabling mechanical fixing elements shall be free of any kind of sharp edges to avoid possible damage of the cables during installation by penetrating the insulation or due to chafing and vibrations in service conditions.

Sharp edges which are able to cause damages on cable insulation shall be covered by edge protectors.

See example in Figure 5. Cabling mechanical fixing elements may be shaped according to the cabling installation curvature. Fixings should be added in the proximity of the edge.

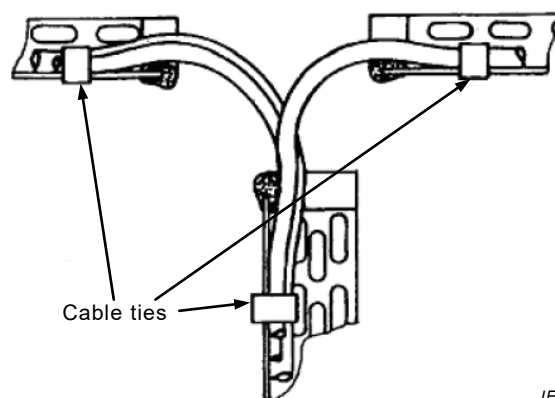


Figure 5 – Examples of mechanical protection of cabling

When slight relative movement is expected, then the cabling installation should be designed to withstand all possible movements. In this case, forces imposed to the terminations and frictions caused by these movements should be minimized or even avoided by adequate fixing.

In addition, when considerable relative movement is expected, the ends of cabling installation should be vertical or present a minimum angle to the vertical, reducing the bending effect of gravity.

Adequate protection against impact of objects, for example ballast stones, at under car-body locations should be considered (e.g. locations 4, 5, 6 and 7 according to Annex K).

4.8 Re-termination

Single- and multi-core cables with a nominal conductor cross-sectional area of 16 mm² or less installed on rolling stock should have sufficient spare length at each termination to allow for at least 3 re-terminations.

NOTE When cables are terminated by a plug, it is impractical to provide any spare length.

For requirements regarding refurbishment and repair, refer to 4.12.

4.9 Busbars

Busbars should be made of copper, brass or aluminum. On contact surfaces, precautions shall be taken to prevent contact resistance values from increasing with time in particular due to corrosion effects or material creepage.

Corrosion caused by the difference of electrochemical potentials between bars, terminals and/or bolts shall be taken into account. Refer to Annex J for examples.

The selection of the type and dimensions of busbars shall be at the discretion of the vehicle manufacturer. The sizing procedure shall include the influence of ambient temperature.

4.10 Connections to busbars

Electrical connections between busbars and equipment, or between different bar sections, or between different devices shall be flexible if relative movement can be expected.

If bolted connections are used, they shall have suitable locking arrangement, which will retain their mechanical forces nearly constant over the lifetime of the equipment, including any material creepage.

4.11 Separation of cables with different voltage levels and for safety reasons

Measures in order to prevent electrical hazards to persons shall be in accordance with IEC 61991.

IEC 61991 specifies the use of measures such as equipotential connection for protective purposes, insulation, prevention of access, automatic disconnection of power supply in hazardous cases, ear protective bonding, warning labels with respect to different voltage bands and possible occurrence of direct and indirect contact.

As methods of cabling are not mentioned in IEC 61991, this is detailed below.

When grouping cables, cables carrying different voltage levels shall be separated as far as practicable.

Separation shall be by distance, insulating barriers or earthed metallic barriers (see Figure 6 and Figure 7). Due to good protection within electrical enclosure, distances for separation may be chosen there according to the requirements for supplementary insulation (see IEC 62497-1).

Separation barriers or screens or sleeves shall have the same mechanical strength and resistance to fire and insulation properties as the insulation of the cables in the higher category.

If cables, for example on the roof, are touched by a broken overhead line, the dangerous voltage should lead to short-circuit detection in the trackside power substation before endangering any person, see IEC 61991.

Further requirements for separating cables for safety reasons may be:

- regarding running capability in case of fire, and
- power supply train line (e.g. 800 A 1 kV/1,5 kV/3 kV), which has the ability to start a fire in case of failure of insulation.

NOTE 1 Requirements for separating cables for safety reasons regarding running capability in case of fire are given in EN 50553.

EMC considerations may require a larger distance than that shown in Table 6. See 5.3.

The separation is necessary for safety reasons, in order to minimise, in case of accidents, fire, chafing of cables, etc., the probability of introducing higher voltages or higher power into cables intended for carrying lower voltages/power.

Where separation by distance cannot be achieved, for example because of restricted space available, the cables shall be separated by a partition or by insulation (see Figure 7). Exceptions shall be limited to cases where no practical solutions are possible (close to terminal strips, at crossings, etc.).

When possible, the individual return cables should be treated in the same way as their matching forward supply cables in all categories.

The unprotected parts of circuits shall be as short as possible. This shall be achieved by ensuring that protective devices and transducers for protective devices are installed as close as possible to the source of supply.

If high voltage cables (circuits within voltage level IV according to IEC 61991) have to be laid in a passenger compartment or driver's cab, they shall be installed in closed earthed metallic tubes or behind earthed metallic enclosures.

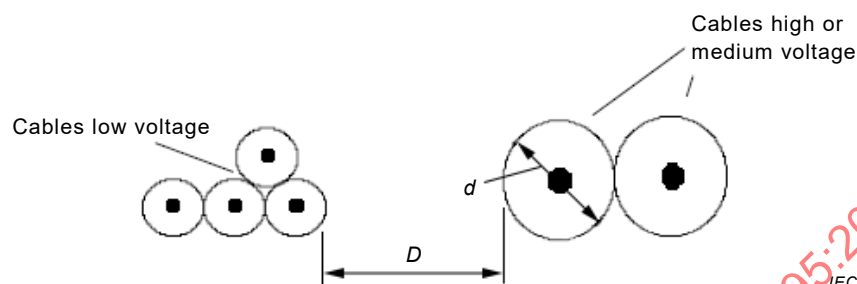
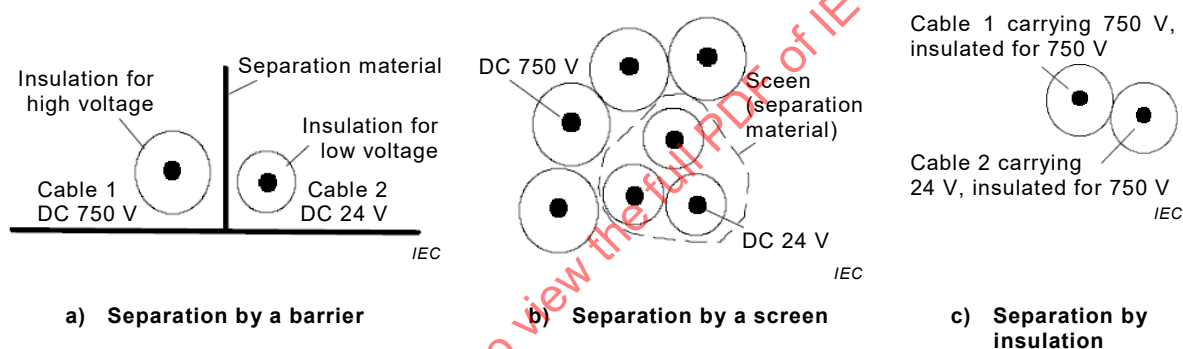


Figure 6 – Separation of cables by required distance: $D > 2d$ and $D > 0,1 \text{ m}$



NOTE These drawings are examples only. Separation material is suitable to insulate for 750 V. Normally, cables for 750 V and cables for 24 V would not be laid closely together due to EMC reasons.

Figure 7 – Examples of separation of cables by barriers or by insulation

For additional cabling requirements regarding avoiding of fire hazards, relevant standards shall apply.

NOTE 2 For example EN 45545-5.

4.12 Provisions for refurbishment and maintenance, including inspection and repair

Modifications to electrical equipment shall not adversely affect the original fire safety specification, according to relevant standards.

NOTE For example EN 45545-5:2013, 6.2.

The design of a new vehicle should take into account the fact that on average once in its lifetime it is likely to undergo a major refurbishment (redesign or extensive modifications) or be extensively repaired.

The design shall include the following provisions for this:

- Cables, cable conduits, equipment, terminals, etc., should be accessible as far as possible. This is also necessary for inspection, maintenance and retrofit.
- Provision should be made as far as possible to allow replacement and repair of cables (provisions for pulling new cables through conduits, etc., ensuring space is available for splicing). Concerning spare cable length for the purpose of re-termination, refer to 4.8.

- When replacement of cables would be difficult, spare cables should be provided. Also refer to 4.14. These provisions are also necessary to allow for repairs and changes during commissioning.

In order to make rearrangements of cables installed in tubes easier, the bending radius and the cross-sectional area of the tubes should be as large as possible. Discontinuous tubes (tubes with holes, breaks, etc.) may be required in order to increase accessibility.

Bundling of cables in tubes may have advantages and disadvantages. It could support easier use of the spare space for later additional cabling, but in cases where the existing cabling is changed, it could become necessary to draw out and change the complete bundle.

Cables which are exposed to flexing and bending stress during service should have good accessibility (e.g. locations 5, 6 and 7 in Annex K and for equipment which may have relative cabling movements between internal parts, e.g. doors, shoe gears). The transition between the flexing and the fixed parts of the cabling should be as smooth as possible.

For cables lying in tubes or conduits, the ratio between the actual amount of cables including spares and the maximum possible amount of cables lying in a tube or conduit shall not exceed 60 %, to allow replacement/refurbishment.

For cables lying in trays or cable ducts, the ratio between the actual amount of cables including spares and the maximum possible amount of cables lying in a tray or cable duct shall not exceed 80 %, to allow replacement/refurbishment. Refer also to 4.3.

If the concerned cables are fixed (i.e. not being moved, bent or flexed during service), insulated splicing connectors may be used during repair and refurbishment for cross-sectional areas up to 6 mm². Refer to 4.17 concerning requirements for terminating conductors.

For new vehicles, splicing should not be used in the original design, or manufacture.

Disconnection points should be selected so that the need for dismantling of cabling because of repairs or planned maintenance is minimized. Cables with low life time expectancy (for instance flexible car-to-car cables) should be easy to renew with minimum need for dismantling.

If using spare cores and cables, an insulation test should be made before commissioning.

At location 4, 5, 6 and 7 according to Annex K, resistance to cleaning agents should be considered.

4.13 Fire prevention, cable laying and cabling behaviour in case of fire

Cables shall not be installed in contact with or close to hot surfaces unless the cables are intended for such conditions.

Cable and cabling materials (such as fixings, heat-shrinkable sleeves, tubes), concerning fire propagation, resistance to fire and reaction to fire (e.g. smoke contents), shall be considered.

Cables shall fulfil test under fire conditions of IEC 60332-1-2 and appropriate fire retardant of IEC 60332-3-24 (cable diameter, $d > 12$ mm) and IEC 60332-3-25 ($d \leq 12$ mm); exception for smaller diameter for cable bundle test is in accordance with IEC 60332-3-25.

It is allowed for cable diameter below 6 mm to achieve the test with bundles spaced by half of bundle diameter. The number of cables in each bundle shall be as follows:

- 4,3 mm $< d < 6,0$ mm, 12 cables in a bundle;
- 3,3 mm $< d \leq 4,3$ mm, 19 cables in a bundle;

- $d \leq 3,3$ mm, 37 cables in a bundle.

Maximum fire propagation is limited to 1,5 m.

The difficulties in evacuation requires a light transmittance of minimum 70 % in accordance with IEC 61034-2, and the weighted toxicity index for cables ITC measured by IEC 60695-7-2:2011, 6.9, shall be maximum 6. It is recommended to use non-metallic halogen free materials in accordance with IEC 62821-1:2015, Annex B.

NOTE 1 Refer to EN 45545-2 for interior HL3.

Requirements regarding running capability in case of fire shall be considered.

NOTE 2 Refer to EN 50553 for running capability in case of fire.

For certain critical functions (emergency light control, door operation, emergency brake application, fire extinguisher control, etc.), it may be necessary to use cables, supporting, protecting and connecting elements with special construction that retain their integrity for a defined time in case of fire, with reference to IEC 60331-1 and IEC 60331-2.

Separate routing of such cabling may be required.

NOTE 3 There is a possibility for properties of these cables to conflict with other requirements (e.g. toxicity, content of halogens).

4.14 Provision of spares

4.14.1 Provision of spares for control cabling

For interface cables connecting electrical components in different locations inside rolling stock vehicles, 10 % or at least 2 spare cores shall be provided in every multi-core cable or bundle of cables containing more than 10 cores. An appropriate number of spare terminals or contacts in connectors (male and female contacts in the plugs, coupler contacts, etc.) or space available for additional terminals or connectors should be provided.

This is not applicable to cables for specific purposes (e.g. door open push-button, lighting control cabling, screened databus or other communication system cables).

The number of spare cores shall be that amount provided at the date of completion of assembly of the first vehicle.

This number of spare cores needed depends on the construction of the cables and connectors and on the method of laying the cables. In cases where the cables are inaccessible (when they are installed in tubes, etc.), the number of spare cores should be increased.

Not connected ends of spare cores shall be rolled up and fixed in an accessible place. Connected spare cores shall be tested.

NOTE Other treatments of the ends of spare cores are agreed, for safety reasons or for EMC purposes. These include insulating the ends or connecting them to earth.

4.14.2 Provision of spares for auxiliary power distribution cabling

In installations where spare provisions are functionally required, i.e. electrical cabinets or cubicles, a minimum amount of 10 % spare terminal connections or space available for additional terminal connections should be provided at the date of completion of assembly of the first vehicle.

4.15 Requirements for fixing

Cables other than those running in tubes or conduits shall be secured by mechanical fixings or fastenings.

Cables should be secured at maximum intervals as follows, unless other values have been specified by the cable manufacturer and/or user:

- a) power cables, multi-core cables and cable bundles
 - 300 mm when cables are running in the horizontal direction, also between a termination point and the first fixing.
 - 500 mm when cables are running in the vertical direction, also between a termination point and the first fixing.
- b) single-core cables for low power, laid singly
 - 150 mm between fixings when cables are running in the horizontal or in the vertical direction, also between a termination point and the first fixing.

NOTE 1 Typically, exceptions to this are made for thick cables and jumpers between parts which make relative movements.

The fixings shall be selected to take into account the cross-sectional area of the conductors or cable bundles, and the expected operational and environmental conditions during the operational lifetime of the vehicle, such as shock and vibrations and cable temperature.

NOTE 2 During a short-circuit, higher electro-mechanical forces could be generated between cables, which have an impact on the cable fixing systems.

If the cables are covered by a metallic or non-metallic sleeve, these sleeves shall have fixings which conform to the requirements specified by the sleeve manufacturer.

Selection of cable ties shall be at the discretion of the vehicle manufacturer.

Cable ties shall be selected in accordance with the following:

- cable ties shall not damage the cables or deteriorate their properties;
- cable ties shall be resistant to the conditions in which the cables are installed (e.g. exposure to diesel oil and UV radiation);
- the fire performance of the cable ties shall be taken into account.

NOTE 3 Fire performance of cable ties could conform to EN 45545 (all parts).

When another mounting place is available, cable fixings should not be mounted on parts that will regularly be moved or replaced during maintenance. Cable fixings shall be separate from fixings of mechanical equipment.

When cables are exposed to flexing and bending stress during service, cable fixings shall be provided close to terminations in order to avoid flexing at the point where the conductor emerges from its insulation and where the core emerges from any sheath (e.g. locations 5, 6 and 7 in Annex K, and for equipment which may have relative cabling movements between internal parts, e.g. doors, shoe gears).

See 4.13 for further advice.

4.16 Clearances and creepage distances

For the uninsulated parts of electrical installations, in particular cable lugs and busbars, clearances and creepage distances shall be in accordance with IEC 62497-1.

4.17 Requirements for electrical terminations

4.17.1 General

For connectors, refer to IEC 62847.

All conductors – except spares, but including non-current carrying conductors provided for protective earthing – shall have terminations on both ends. Each termination point shall have a specific preparation of the cable end and shall have a matching part on the terminal or device side, if applicable for the termination technology. Both the current rating and the temperature rating of both sides of the termination point shall be not less than the maximum load to be expected in service.

The termination point shall produce a permanently reliable connection between the conductors of the cable and the parts of the terminal or device which are intended to carry the current.

At least the following conditions should be taken into account:

- fire behaviour;
- thermal resistance of all involved components;
- mechanical behaviour (taking into account creep of materials and avoidance of plastic deformation, resistance to fatigue and corrosion and the ability not to disconnect unintentionally);
- electrical behaviour (voltage withstand, current density, voltage drop, thermal and mechanical effects from short-circuit conditions);
- safety against persons touching electrically live parts;
- ability to meet the specific railway environmental conditions (shock and vibration, temperature, corrosion, moisture, dust, etc.);
- use of appropriate tools;
- electrochemical potential difference of the material combination.

When applicable, terminations should at least have been mechanically tested for:

- shock and vibration,
- tensile strength,
- torque control,
- insert and extraction forces, and
- retention forces,

and should at least have been electrically tested for:

- contact resistance,
- voltage drop,
- withstand voltage,
- temperature rise, and
- current load.

4.17.2 Electrical terminations at the cable ends

Examples of methods of terminating cables at the conductor end side and their main mechanical and electrical aspects are given in Table G.1.

4.17.3 Electrical terminations at the terminal or device side

Selection of the terminations used at the terminal or device side shall be at the discretion of the vehicle or enclosure manufacturer.

Solderless connection for terminations used at the terminal or device side shall be in accordance with IEC 60352 (all parts).

Examples of terminations used at the terminal or device side and their main mechanical and electrical aspects are given in Table G.2 to Table G.5.

In order to prevent temperature rise at terminal points, the following measures shall be taken:

- except supplementary conductive elements, in order to avoid galvanic corrosion for example in a protective earth connection, washers or any intermediate parts shall not be used between the conducting components;
- except specific constructions being calculated and tested as current carrying components, bolts and studs shall not be used as conductors;
- the metal surface materials of the two parts shall match and shall be cleaned and prepared;
- when cable lugs are connected to busbars, current carrying studs or protective earthing studs, the construction shall be such as to ensure the flow of current:
 - with a maximum of 2 terminal lugs at each bolted connection for power,
 - with a maximum of 3 terminal lugs at each bolted connection for protective earthing, and
 - with a maximum of 3 terminal lugs at each bolted connection for control.
- when cable lugs are connected to isolators or insulated terminal studs, the construction shall be such as to ensure the flow of current:
 - with a maximum of 3 terminal lugs at each bolted connection for power,
 - with a maximum of 3 terminal lugs at each bolted connection for protective earthing, and
 - with a maximum of 4 terminal lugs at each bolted connection for control.

Means to avoid galvanic corrosion should be provided between the conducting components if the material combination results in an electrochemical potential difference exceeding 300 mV. Refer to Annex J for examples.

The quality of an electrical contact depends on:

- the surface texture and the materials of the conducting parts involved (the surface texture should be better than 3,2 μm in the same sense as used in ISO 1302),
- the dimensions of the contact surface in relation to the current (i.e. current density) (see below),
- the clamping pressure (see below) , and
- the electro-galvanic couple between both materials entering in contact.

Requirements regarding factors having influence on fire hazard shall be taken into consideration.

NOTE 1 General requirements regarding factors influencing fire hazard could conform to EN 45545 (all parts), especially the additional requirements of EN 45545-5:2013, Clause 5.

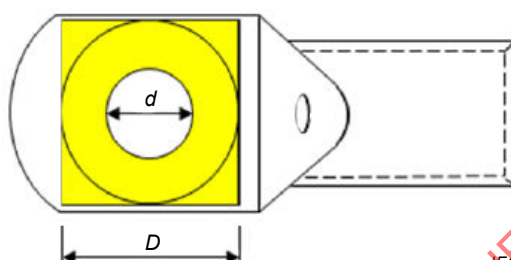
The current density in a copper contact shall not exceed 1,4 A/mm², using the load current I_{load} for this calculation (see 4.2.3). For aluminium, this maximum value shall be 0,8 A/mm².

For calculating the effective area of contact, see procedure below and Figure 8.

NOTE 2 This procedure is also applicable when two busbars are connected to each other (the pressure on both bars is applied by a bolt connection).

The effective area of contact, A , in square millimetres (mm²) shall be the area of a square of sides equal to the outside diameter of the thrust washer, D , in millimetres (mm), minus the area of a circle of diameter d , in square millimetres (mm²), where d is the inside diameter of the washer (see Figure 8). The value of A shall be calculated using the following formula:

$$A = D^2 - \frac{\pi \times d^2}{4}$$



**Figure 8 – Dimensions for calculating the effective area of a contact
(example for a cable lug)**

The effective contact area shall be within the geometrical limits of the contact area of the conducting element. In case it exceeds the outside geometrical limits, then the effective contact area is equal to the contact area of the conducting element.

4.18 Use of heat-shrinkable sleeves

Heat-shrinkable sleeves may be used on railway equipment for two purposes:

- for identification (by their colour, or by carrying the marking itself, or by keeping extra markings in place);
- for electrical and mechanical protection (e.g. prevention of water ingress and permanently maintaining a particular clearance or creepage distance).

Such sleeves should only be used in addition to appropriate insulation.

If heat-shrinkable sleeves are used for insulation, they should be carefully selected to ensure:

- the mechanical and electrical performance is comparable with the insulation it is replacing, and
- the installed wall thickness is comparable to the core or cable insulation it is replacing.

Heat-shrinkable sleeves should be installed in accordance with the manufacturer's or the supplier's instructions and in particular, it should be noted that when shrinkage is restricted some properties may be impaired, for example wall thickness, mechanical and electrical performance.

When covering uninsulated parts by sleeves, only short lengths should be used. Otherwise, the flexibility of the cable could be lost, fire behaviour changed and cooling conditions affected.

At the moment of using heat for shrinking the sleeves, the maximum allowed short time temperature (short-circuit temperature) for the cable material should not be exceeded.

If the use of heat-shrinkable sleeves needs to be restricted – for example owing to fire behaviour – to certain operating categories of vehicle, this shall be stated by the purchaser in the contract.

NOTE Operating categories for railway vehicles could be found in EN 45545-1.

Heat-shrinkable sleeves shall conform to IEC 60684-3-212, IEC 60684-3-216 or IEC 60684-3-271 except that test fluids may be changed by the sleeve manufacturer in order to determine whether the sleeves meet the requirements for specific applications (for example test fluids mentioned in Table H.1 or according to national standards).

4.19 Connections for return current

The requirements of IEC 61991 shall be fulfilled.

4.20 Storage of cables

Storage of cables before installation on the vehicles should bear witness to good workmanship.

Where necessary, the drums and reels shall be protected against detrimental climatic environmental influences (rain, UV radiation, etc.).

Where necessary, special care shall be taken into account when cables are stored externally:

- watertight protection by means of end caps;
- protection against UV radiation by means of for example a foil around the cables on the drum;
- for drums stored for a longer period in colder temperatures, the cables should be kept for at least 12 h at the installation conditions before they are used.

Cables installed on new vehicles should not exceed the manufacturing date by more than 5 years.

The cable manufacturer may recommend other storage requirements.

4.21 Cable conduits

The cable conduits and accessories should comply with IEC 60423 and IEC 61386-1.

Non-metallic conduits and accessories shall comply with the fire requirements within relevant standards.

NOTE 1 For example EN 45545 (all parts).

When selecting type of cable conduit the expected operational and environmental conditions for the different locations as per Annex K should be taken into account. These should include but are not limited to the following parameters:

- interior;
- exterior;
- static;
- dynamic;
- flexibility;
- on roof (UV);
- fuel;

- oil;
- cold impact;
- current de-rating of cables due to thermal effect in close conduits.

NOTE 2 Metric thread sizes are used for conduit adaptors.

NOTE 3 In exterior applications the conduit adaptors generally fulfil IP 65 at minimum, according to IEC 60529.

4.22 Electrical bolted connections

Unless torques are specified by the manufacturer, the pressure applied to copper conducting parts shall be initially between 10 MPa and 20 MPa. These values apply to both half hard and soft copper. Unless otherwise specified by the manufacturer, the pressure applied to aluminium conducting parts shall be initially between 7,5 MPa and 15 MPa.

The maximum stress of metallic nuts and bolts shall not exceed 75 % of the elastic limit of the material.

Additionally, the following parameters should at least be taken into account:

- prevention of lug movement (cabling fixings);
- sequence order of elements belonging to the bolted connection (washers, nuts, bolts, studs, etc.);
- relative dimensional definition of the fixing elements (washer inner and outer diameter, bolt or stud diameter, etc.);
- extra-length for studs or bolts allowing correct nut fitting;
- enough length to allow 3 lugs for power cabling or 4 lugs for control cabling;
- environmental influence (corrosion, vibration, temperature, etc.), surface finish requirements and material combination (see 4.17);
- washer types (conical spring washers, flat washers, etc.);
- possibility to use lock nuts.

To avoid relative movements between elements belonging to a bolted connection (i.e. cable lug and washers), the cable should be fixed.

Figure 9, Figure 10 and Figure 11 show typical examples of sequence orders on a bolted connection.

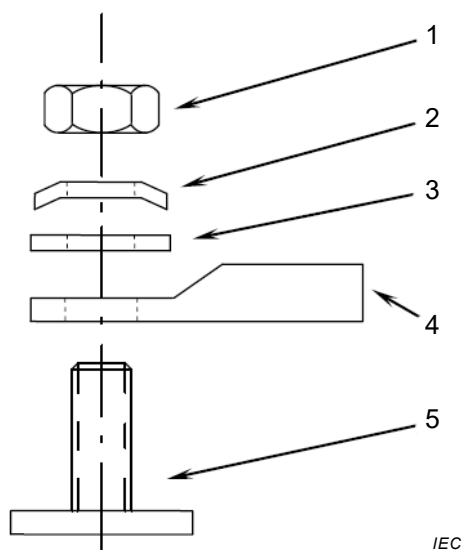
NOTE 1 Regarding restrictions to current flowing through threads, see 4.17.3.

When a conical washer is used, then its diameter shall be smaller than the diameter of the flat washer after tightening with the correct torque.

When terminal studs are used in bolted connections, then sufficient excess length of, at least, two thread turns shall be visible after tightening with the correct torque.

NOTE 2 Maximum number of cable lugs is taken into account for the length of the stud.

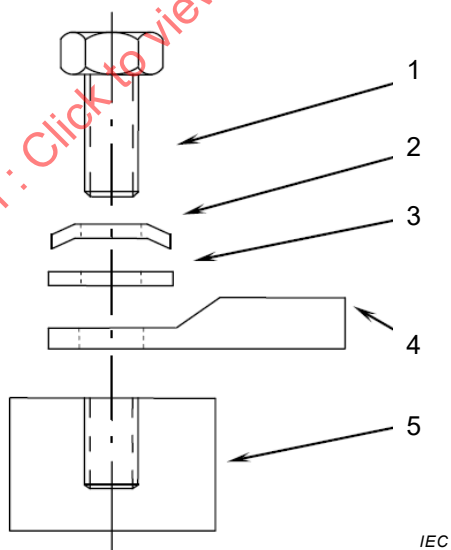
Inner diameter of washers and cable lugs shall be suitable to the outer diameter of the bolt, and the outer diameter of the washer shall be suitable to the cable lug.



Key

- 1 nut
- 2 conical spring washer
- 3 flat washer
- 4 cable lug
- 5 terminal

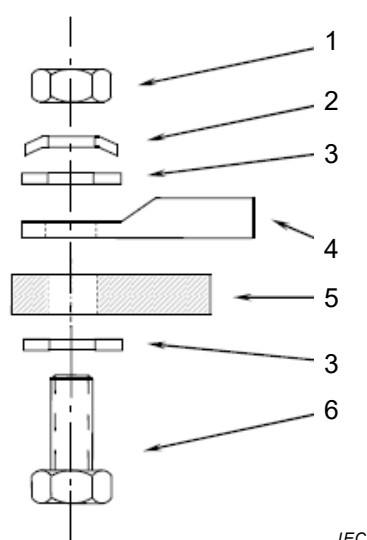
Figure 9 – Example of sequence order of elements belonging to a bolted connection (nut)



Key

- 1 bolt
- 2 conical spring washer
- 3 flat washer
- 4 cable lug
- 5 boss

Figure 10 – Example of sequence order of elements belonging to a bolted connection (bolt)

**Key**

- 1 nut
- 2 conical spring washer
- 3 flat washer
- 4 cable lug
- 5 bus bar
- 6 bolt

Figure 11 – Example of sequence order of elements belonging to a bolted connection (bolt + nut)

5 EMC requirements

5.1 General

The requirements specified in Clause 5 are based on the assumption that the car-body is conductive. When the car-body consists of non-conductive materials, more stringent measures are necessary to achieve EMC.

Cables are exposed to electromagnetic interference and they can also act as an interference source.

The requirements of IEC 62236-3-1 and IEC 62236-3-2 (concerning test methods and limit values) shall be fulfilled.

In order to fulfil IEC 62236-3-1 and IEC 62236-3-2, the following cabling requirements should be fulfilled to the greatest possible extent.

Regarding magnetic fields which may have impact on human beings bearing active implantable medical devices, care should be taken when planning high power cable laying (e.g. DC power conductors should have their feed and return cables laid as close together as practicable).

5.2 Cable categories

For cable laying, all cables should be classified employing at least three EMC cable categories as given in Table 5.

Table 5 – Cable categories with respect to EMC

EMC cable category	Task of cable
A	Power supply 1: pantograph/current collector cables supplying traction, heating, auxiliary power supply converters. Power supply 2: motor cables, braking resistor cables, cables to line filters (on inverter side), auxiliary equipment supply cables, combustion motor starter cables, etc.
B	Battery cables, binary control cables, etc.
C	Cables for signal transmitters, antenna cables, loud-speaker cables, databus cables, etc.
The category names A, B, C are not mandatory. More categories and/or sub-categories are allowed. Splitting of category A into 2 groups is for safety reasons only, see 4.11.	

5.3 Separation of cables

Cables of different categories should be laid separately wherever possible. The required distance between cables or cable bundles is in theory dependent on power, frequency components, length of parallel laying, immunity against emission and electromagnetic interference. For practical purposes, the minimum distances in air between the cables in different cable categories shall be chosen according to Table 6.

When crossing of cables of different categories is necessary, this shall be done perpendicular wherever possible.

Table 6 – Minimum distances between cables of different EMC categories

EMC cable categories	Separation distance m
A and B	0,1
A and C	0,2
B and C	0,1

Separate laying of the cables belonging to each of the various cable categories and separation by the minimum distances according to Table 6 should be maintained wherever possible.

The minimum distances specified by Table 6 may not be applied in the case of the intersection of cables belonging to different EMC categories, which are perpendicular to each other.

In cases where the minimum distances between cables in different categories cannot be obtained (in particular with respect to the distances between categories A and C), cables should be separated by metallic sheathings, metallic overall screenings, metallic coverings or metallic enclosures, which are electrically connected to car-body structure (grounding).

5.4 Return conductor

The feed and the return cables of a circuit should be laid as close together as practicable, in particular in the case of power cables emitting disturbances, and sensitive signal cables. Twisted cables or cores should be used for this purpose, where available and practicable.

NOTE This measure can reduce not only EMC problems but also noise problems.

5.5 Use of conductive structure

Cables shall be installed as close as possible to conductive vehicle structures (metallic car-body plates, metallic cable ducts, metallic tubes, etc., connected to the car-body by means of a conductive connection) to make maximum use of the reduction effect resulting from the cancellation of the field from the cable by the opposite field reflected from the metal surface.

5.6 Shielding and earthing

Cables of category A may be shielded, in order to reduce emissions. If not otherwise recommended by subsystem manufacturer, cables of category C shall be shielded, in order to increase immunity. In cases where high levels of electromagnetic disturbance are expected, cables of all categories should be shielded.

Shielding may be performed by a screen around a single core or by a screen around the cable or by a screen around multiple cores or cables or by a metallic enclosure.

Where screens are connected to car-body, this should be done over an area as wide as possible (i.e. a low inductive connection). Connections where the screen is brought down to a single conductor ("pigtail") and extended through a connector pin or to an earth point should not be used in a frequency range above 100 kHz or where other practical solutions are possible.

At frequencies below 100 kHz where pigtails cannot be avoided, the length of the pigtail should be as short as possible, with low impedance and should not exceed 5 cm.

In general, the screen of a cable should be connected to car-body structure (grounding) as often as possible, and at least at both ends (refer to Annex I). Exceptions from this requirement can be necessary when the current flowing through the screen could be too high, or if unwanted signals could be generated (e.g. at axle mounted speed sensor signals, or at audible signals like loud-speaker signals). The vehicle manufacturers are able to choose the earthing methods (e.g. one end of the screen earth or both ends of the screen earth) which equipment or machine manufacturers recommend, according to the agreement and/or contract between vehicle manufacturer and equipment or machine manufacturers.

An earthing concept (or earthing plan) should be drawn up to ensure that higher compensating or return currents due to voltage differences between the screen earthing points, do not flow through the screens.

In trolley buses, the EMC purpose screens shall be connected to the car-body. The protective earth screens, if any – shall be connected to an intermediate potential without any electrical connection to car-body.

5.7 Supply connection from battery

Separate cables from the battery should be employed for the battery side supply of components with pulse-shaped or pulse controlled load, where this is necessary. The branch off from the other supply cables should then be situated as close as possible to the battery.

5.8 Databus lines

Databus lines should always be routed through dedicated plug connectors. Exceptions should only be made where there is no other physical solution (e.g. in vehicle couplers).

Different databus lines may be routed through a common plug connector. The databus cores shall then be assigned to the plug connector pins in such a manner that the greatest possible separation is achieved between the different databus lines.

NOTE This has also space advantages in the plug housing.

Interruption of databus screening, if necessary, shall be according to the databus specification or standard.

6 Marking for identification

6.1 General

Clause 6 specifies marking additional to type marking on cables or equipment, in order to identify a particular piece of cable or equipment as being responsible for a certain function.

The marking for identification of cables, cores, connectors, etc., should be changeable. The marking itself shall be permanent and easily legible for the expected lifetime of the cabling. The information contained in the marking shall be in accordance with the documentation (circuit diagrams, wiring lists, etc., as appropriate).

6.2 Marking for identification of cables and busbars

Cables and/or the individual cores installed in the vehicle – including spares – shall be marked for identification at all terminals and other detachable points in a practical way.

Individual cores in a multi-core cable may be un-marked if the cable is marked in accordance with the documentation (circuit diagrams, wiring lists, etc., as appropriate) and if the individual cores are identifiable by insulation colours or numbers, etc., on the core insulation, or by configuration (see Figure 12).

NOTE For cables, there are several marking systems, for example:

- unique numbers: each cable part has a certain number which identifies it. This system will give the same marking at both ends of the cable;
- equipment numbers: each end of each core part has a marking, identifying the connection point of equipment where the core will end. This system will give different marking at the ends.

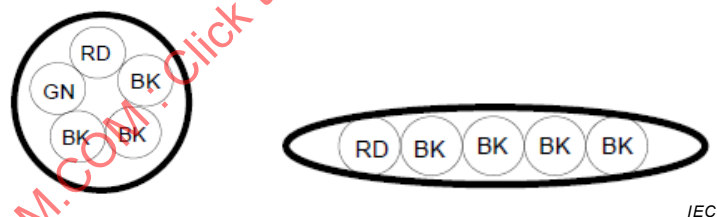


Figure 12 – Examples of cable or plug constructions where identification is done by configuration

For abbreviations of colours see IEC 60757.

If the space available is too small to provide a full marking for identification of the individual cores, it maybe omitted if the identification is unambiguously present or replaced by an individual core number coding system.

If marking for identification by printing directly on the cables is used, the printing method shall be submitted to the same contrast tests as other marking for identification systems and it should only be used for minimum cross-section $\geq 1 \text{ mm}^2$ to improve legibility. The printing direction may be mirrored to respect the reading direction towards both termination ends.

If there is any possibility of confusion, busbars shall be marked for identification.

6.3 Marking for identification of terminal blocks, individual terminals, plugs and sockets

All terminal blocks shall be marked for identification, if there is any possibility of confusion. Marking shall be placed on the block, adjacent to it or on the cover on it.

The individual terminals on the terminal block shall be identified by numbers, letters, symbols, etc.

All plug/socket devices should be marked for identification. If there is any possibility of confusion, plug/socket devices shall be marked for identification or coded.

6.4 Marking of insulators

Insulators may not be marked for identification, but shall be identifiable from the available documentation.

The marking (if any) shall be placed in the vicinity of the insulators.

6.5 Marking for warning against electrical shock

Live parts of conducting elements to which operation or maintenance staff may have access shall be indicated by warning labels accordingly.

Refer to IEC 61991 and IEC 61310-2 for details.

6.6 Marking using heat-shrinkable sleeves

If the marking is by heat-shrinkable sleeves, the tests described in Annex H shall be used for demonstrating the quality of the marking.

NOTE Black printing on yellow or white heat-shrinkable sleeves is preferable for contrast reasons.

7 Testing

7.1 General concerning testing

After installation, the completed cabling shall be tested by routine tests. Any component tests – cable type tests included – should be completed before this testing starts.

Concerning testing of cabling on rolling stock, IEC 61133:2016 shall apply. It specifies the following items:

- cable lengths (refer to IEC 61133:2016, 8.2.2.3, concerning appropriate length for car-to-car and car-to-bogie connections);
- electric insulation tests (IEC 61133:2016, 8.7). The concerned routine tests shall show that the cabling has been installed and finished correctly, being free from damage to insulation materials. It is not intended to test the installed equipment or the cable material, since this is expected to have been tested before, during their manufacturing (see below);
- earthing circuits (IEC 61133:2016, 8.8);
- train control circuits (IEC 61133:2016, 8.15);
- traction system (IEC 61133:2016, 8.17);
- safety related systems (IEC 61133:2016, 8.20);
- EMC (IEC 61133:2016, 9.15).

7.2 Electrical insulation tests

7.2.1 General

The objective is to test the insulation integrity of the vehicle electrical circuits.

In a series of cabled vehicles or components, these tests shall be performed on all cabled vehicles or components.

All connection devices which are part of the cabling installations on board railway rolling stock, for example connectors, terminals, etc., shall be designed to pass all cabling tests described in 7.2.2 and 7.2.3.

The voltage withstand tests according to 7.2.2 may be carried out not on the completed vehicle, but upon completion of the cabling, after mounting and before connection of items of electrical equipment already tested individually for dielectric strength, for example according to their equipment standard. In this case, the insulation impedance test according to 7.2.3 shall be carried out once the vehicle has been entirely completed.

Equipment which has previously passed insulation tests to an agreed standard may also be disconnected before the vehicle insulation test.

In cases where double insulation of the electrical equipment from the car-body is specified, for example trolley bus systems, then it shall be verified that such insulation exists and that each part of the insulation system can withstand the requirements of the insulation tests in 7.2.

Any functional tests shall be performed after the electrical insulation tests.

The insulation integrity shall be demonstrated by applying both voltage withstand test and insulation impedance test as described under 7.2.2 and 7.2.3.

If an insulation impedance test is carried out both before and after the voltage withstand test, the test conditions shall be the same during both insulation impedance tests, and the impedance value measured by the test following the voltage withstand test shall be not lower by more than 10 % than that measured in the initial test.

NOTE In many cases, it is useful to perform the insulation impedance test (DC 500 V) before the voltage withstand test, in order to find elementary insulation faults without applying higher test voltage.

The test procedure used and the test results shall be recorded. This information shall be made available for the purchaser on request.

7.2.2 Voltage withstand test

7.2.2.1 Preparing for the test

Frequently, the equipment is composed of several groups of circuits with different voltage levels; each group shall be separately tested to earth, all other groups in principle being earthed.

As necessary, contactors and other switchgear should be closed or short-circuited to ensure that all parts of the circuit are connected. All precautions shall be taken in order to avoid abnormal voltages due to capacitive or inductive effects.

Equipment likely to suffer during the tests, for example electronic components, shall be disconnected or short-circuited. Such equipment shall have previously passed an insulation test to a relevant equipment standard.

The withstand test voltages are given in Table 7 and Table 8 below. They shall be applied between the various circuits and earth.

Each core or circuit may be tested separately to earth. In this case, the other conductors or circuits may not be earthed.

It is allowed to test each circuit separately, because this is according to practice, i.e. when testing with automatic machines.

7.2.2.2 Test voltages

Unless otherwise agreed in the contract, the test voltages shall be selected as follows.

a) Testing by alternating current (AC 50/60 Hz)

The test voltages shall be selected according to Table 7 and Table 8. Test voltages shall however not be higher than 85 % of the test voltages for associated components including the cable type test voltages.

Testing should preferably be performed with AC 50/60 Hz RMS. If the circuits to be tested contain diodes or capacitors, the appropriate DC voltage value shall be used (DC value = AC value $\times \sqrt{2}$).

The test voltage shall be increased progressively from zero and shall be reached within 5 s and be maintained for a minimum of 10 s and then be decreased progressively to zero. A test duration shorter than 1 min may be used. If a flashover occurs during this test, the test should be stopped by switching off the voltage immediately.

NOTE In some standards, the test voltage is allowed to be maintained for 1 min or more. In this document, the cable material used is assumed to have passed a product test before installation, and the test described in this document is intended to discover installation problems.

This test has been passed when no flashover has occurred and no voltage breakdown has been detected during the test.

b) Testing by impulse voltage

This procedure may be preferred when using automatic testing machines. If no voltage values are agreed in the contract, these voltages shall be selected according to Table 7 and Table 8. The voltages shall be applied according to IEC 61180, and the test has been passed when no flashover and no voltage breakdown have occurred.

Table 7 – Test voltages according to on-board voltages

Nominal on-board voltage (DC or AC RMS, conductor to earth) U_n V	Test voltage AC 50/60 Hz U_p V	Impulse test voltage (1,2/50 μ s according to IEC 61180) U_{imp} V
up to 36	500	1 000
up to 72	750	1 500
up to 120	1 000	2 000
up to 240	1 500	3 000
up to 360	2 000	4 000
Over 360	$(2,5 \times U_n + 2\,000) \times 0,85$	$U_p \times 2$

Table 8 – Test voltages according to supply line voltages

Nominal supply line voltage U_n V	Test voltage AC 50/60 Hz U_p V	Impulse test voltage (1,2/50 μ s according to IEC 61180) U_{imp} V
DC 750	3 300	6 500
DC 1 500	4 900	10 000
DC 3 000	8 100	20 000
AC 15 000 ^a	34 000	65 000
AC 25 000 ^b	55 000	110 000

As for higher nominal supply line voltage, for example 50 000 V, test voltage should be decided based on applicable standard, or agreement between user and manufacturer.

^a 16,7 Hz.

^b 50 Hz.

If voltage withstand tests are repeated, the test voltage should be reduced by 20 % of original test voltage for each new test, in order not to destroy insulation. A maximum reduction to 60 % of the original test voltage should be applied.

7.2.3 Insulation impedance test

7.2.3.1 Preparing for the test

All preparation steps should be the same as described under 7.2.2.

7.2.3.2 Test limits

Unless other values are agreed in the contract, the test voltages shall be DC 500 V, and the minimum insulation impedance values measured shall not be less than those given below for new vehicles:

- 5 M Ω for circuits having a rated voltage equal to or greater than DC 300 V or AC 100 V;
- 1 M Ω for circuits having a rated voltage less than DC 300 V or AC 100 V.

In the case of extra ordinary test conditions, as high relative humidity or high ambient temperature, use of special cables, etc., values of less than 1 M Ω may be accepted.

Such conditions shall be recorded.

When testing vehicles that have been in service, reduced test insulation impedance values should be accepted.

Annex A (normative)

Cable sizing – Calculation under short time current conditions

If operation ensures the cooling down of the cable, due to that the load is not continuous or not sustained cyclic, calculation under short time current conditions is applicable. Not continuous or not sustained cyclic is the case when the "off time" is longer than 5 times the thermal time constant.

- I_{load} is the maximum load within t_2 ;
 t_2 is the duration of a typical "on-time" during service, in minutes (min);
 T is the thermal time constant of the cable in minutes (the thermal time constant or an equivalent formula shall be that provided by the cable manufacturer).

The k_4 correction factor according to Table A.1 shall be used when calculating I_{corr} in 4.2.3 b). Linear interpolation between two lines in Table A.1 is allowed.

Table A.1 – Modification factor k_4

Coefficient of use t_2/T	Modification factor k_4
3	1,02
2,7	1,03
2,4	1,04
2,1	1,06
1,8	1,09
1,5	1,13
1,2	1,19
0,9	1,30
0,75	1,38
0,6 and lower	1,49

For power and control cables having special fire performance with cross-sectional areas (A) above 50 mm², the following empirical formula may be applied to determine the thermal time constant T :

$$T = 1,8 \times (\sqrt{A} - 5)$$

where

A is the cross-sectional area of the conductor in square millimetres (mm²);

T is the thermal time constant of the cable in minutes (min).

NOTE Cable suppliers verified data could be used for cable time constant in order to be more specific for special cross-sections, cable integration situations, etc.

Annex B (informative)

Cable sizing – Examples of current ratings

The values presented below concern single-core cables in free air with copper conductors, which in practice are valid when a clearance between the cable surface and any adjacent surface of at least 1,0 times the outer diameter of the cable exists.

The values are based on DC or AC 50/60 Hz at an ambient temperature of $T_{\text{ref}} = 45\text{ °C}$ with a maximum conductor operating temperature of $T_{\text{c(max)}} = 90\text{ °C}$.

NOTE 1 The values are taken from EN 50355:2013 and they are intended for use with railway cables defined in EN 50264 (all parts), EN 50382 (all parts) and EN 50306 (all parts).

I_{cable} for maximum conductor temperatures other than $T_{\text{c(max)}} = 90\text{ °C}$, refer to Annex C.

The same I_{cable} value for screened and unscreened cables may be used, when no significant current is flowing through the screen.

**Table B.1 – Examples of current ratings for standard wall cables,
with 90 °C maximum conductor operating temperature**

Nominal conductor cross-sectional area ^a	Current carrying capacity ^b
mm ²	I_{cable} A
1	20
1,5	25
2,5	33
4	46
6	60
10	85
16	110
25	150
35	190
50	240
70	300
95	360
120	425
150	490
185	560
240	675
300	775
400	950
^a Examples for information only.	
^b Effective value; one cable in air; $T_{\text{ref}} = 45\text{ °C}$; $T_{\text{c(max)}} = 90\text{ °C}$; DC or AC 50/60 Hz.	

When significant current is flowing through the screen, the screen should be considered as an additional current carrying conductor. The current load on a screen should not exceed the value specified by the cable manufacturer.

At higher frequencies, cables have reduced current carrying capacity. In such cases, current carrying capacity should be defined by the cable manufacturer.

NOTE 2 Cable sizing could also be left at the discretion of the manufacturer with verified and agreed data from the cable supplier.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62995:2018

Annex C (normative)

Cable sizing – Calculating current ratings for temperature classes other than 90 °C

For temperature classes other than 90 °C, the values in Table B.1 shall be used after multiplying the values in Table B.1, column I_{cable} by a factor k^* according to Table C.1 or according to the formula below.

Table C.1 – Factor k^* , used when comparing current ratings for 90 °C maximum conductor operating temperature with other temperature classes

$T_{\text{c(max)}}$ °C	Factor k^{*a}
90	1,0
105	1,14
120	1,26
140	1,40
150	1,46
^a Comparing with 90 °C class values.	

The values in Table C.1 may be calculated by the formula:

$$k^* = \sqrt{\frac{(T_{\text{c(max)}}^* - T_{\text{ref}}^{45^\circ}) \times (1 + 0,004 \times T_{\text{c(max)}}^{90^\circ})}{(T_{\text{c(max)}}^{90^\circ} - T_{\text{ref}}^{45^\circ}) \times (1 + 0,004 \times T_{\text{c(max)}}^*)}}$$

where

$T_{\text{c(max)}}^*$ is the new temperature class to be calculated;

$T_{\text{c(max)}}^{90^\circ}$ is the temperature class of the basic Table B.1 = 90 °C (i.e. 363,15 K);

$T_{\text{ref}}^{45^\circ}$ is the reference ambient temperature for both temperature classes = 45 °C (i.e. 318,15 K).

Observe that for use in the above formula, only temperature values in kelvins (K) shall be used.

Annex D (normative)

Cable sizing – Correction factor k_1 for expected ambient temperature

In Table D.1 are listed some values of modification factor k_1 for current capacity, depending on T = ambient temperature of the selected cable type, and on a maximum conductor operating temperature of $T_{c(max)}$ of selected cable type. Reference ambient temperature $T_{ref} = 45\text{ °C}$.

The values are calculated with the formula in 4.2.3 b). Other values – if necessary – can also be obtained with that formula.

Table D.1 – Modification factor k_1

Expected ambient temperature T °C	Cable type				
	k_1 for $T_{c(max)} = 90\text{ °C}$	k_1 for $T_{c(max)} = 105\text{ °C}$	k_1 for $T_{c(max)} = 120\text{ °C}$	k_1 for $T_{c(max)} = 140\text{ °C}$	k_1 for $T_{c(max)} = 150\text{ °C}$
35	1,11	1,08	1,06	1,05	1,05
45	1	1	1	1	1
55	0,88	0,91	0,93	0,95	0,95
65	0,75	0,82	0,86	0,89	0,90
75	0,58	0,71	0,77	0,83	0,85
85	0,33	0,58	0,68	0,76	0,79
95	-	0,41	0,58	0,69	0,72
105	-	-	0,45	0,61	0,65
115	-	-	0,26	0,51	0,58
125	-	-	-	0,40	0,49
135	-	-	-	0,23	0,38
145	-	-	-	-	0,22
Reference ambient temperature $T_{ref} = 45\text{ °C}$.					

Annex E (informative)

Cable sizing – Cable thermal lifetime expectation

E.1 General cable lifetime considerations

In 4.2.3 b), the formula for the current carrying capacity of the cable in service, I_{corr} , is given. To allow for a change in predicted cable lifetime by this formula, the correction factor k_3 should be used.

k_3 values $> 1,0$ indicate that cable lifetime is decreased. k_3 values $< 1,0$ indicate that cable lifetime is increased.

NOTE For many relevant materials, there is a relation between temperature and change of characteristics over time; this change is called ageing.

The insulation and sheath materials, etc., of a cable are mostly made of different components where some components are more prone to ageing than others. Normally, one should analyze that component which is ageing at the highest speed. Ageing effects for insulation materials may be described by Arrhenius plots according to IEC 60216-1.

Based on the Arrhenius plot according to IEC 60216-1 using an end point of 50 % absolute elongation at break, the halving/doubling step should be determined. In the absence of an Arrhenius plot indicating otherwise 10 K should be used as the doubling step for expecting lifetime.

EXAMPLE If a train cabling is made for 20 years of service, the cabling lifetime would, according to the above rule, be reduced to 5 years by increasing its current load so that the temperature rises 20 K.

Railway rolling stock manufacturers are facing the fact that their trains are expected to be used for 30 years or more.

Expecting from a train that it will be in service 18 h per day, 350 days per year would give 6 300 h service per year. 15 years respectively 40 years would then mean approximately 100 000 h respectively 250 000 h service time.

If the cabling cannot be designed for the lifetime of the train, then it should be replaced after the designated lifetime of the cabling.

The continuous maximum conductor temperature for the cable types are given in Table E.1. This is based either on proven experience and reliability over many years or, in the case of newer, less well defined insulations, upon an acceptance test, using long-term thermal endurance ageing to IEC 60216-1 to demonstrate an expected lifetime of at least 20 000 h at the temperatures given in Table E.1 (i.e. 20 °C above the continuous rating). Data from this thermal testing can, with care, be extrapolated to the conductor temperature to provide a predicted continuous lifetime of the cable.

This estimated lifetime may be used in conjunction with the known duty cycle of the vehicle, and its predicted time out of service, to estimate the ability of cable to function reliably for the expected service life of the whole vehicle.

Table E.1 – Temperature for expected lifetime

Continuous maximum conductor temperature °C	Temperature for 20 000 h expected lifetime °C
90	110
105	125
120	140
150	170

E.2 Reducing cable lifetime

When decreasing lifetime, k_3 should be calculated according to the following formula:

$$k_3(\Delta T) = \sqrt{\frac{(T_{c(max)} + \Delta T - T_{ref}) \times (1 + 0,004 \times T_{c(max)})}{(T_{c(max)} - T_{ref}) \times (1 + 0,004 \times (T_{c(max)} + \Delta T))}}$$

where

$T_{c(max)}$ and T_{ref} are as defined under 4.2.3 b) and in kelvins (K);

ΔT is the deviation of $T_{c(max)}$ for decrease in predicted cable lifetime, in kelvins (K).

Unless otherwise specified by the cable manufacturer, the maximum possible ΔT should be 30 K, and the minimum ΔT should be 0 K.

NOTE The above formula only takes into account temperature changes as the CSA of the cable changes while keeping the current constant. Ageing as a chemical process is not considered.

For some cable types, it is not allowed to increase temperature over the value of $T_{c(max)}$ for sustained periods. Overload values need to be agreed with the cable manufacturer.

The parameter 0,004 is valid only for copper.

Examples of $k_3(\Delta T)$ for $T_{c(max)}$ in 363 K (equal to 90 °C) and T_{ref} in 318 K (equal to 45 °C) as calculated by this formula are given in Table E.2.

Table E.2 – Examples of values of correction factor k_3 to allow for decrease in predicted cable lifetime for a 90 °C cable

ΔT K	$k_3(\Delta T)$	Influence on predicted cable lifetime
0	1,00	Unchanged predicted lifetime
10	1,10	Lifetime divided by 2
20	1,18	Lifetime divided by 4
30	1,26	Lifetime divided by 8

E.3 Increasing cable lifetime

When increasing lifetime, in theory the same formula as under Clause E.2 above may be used.

Each used cable mostly consists of several components which each can have a different speed of ageing.

Further, ageing is not linear over a wider range. For these reasons, amongst others, it is important that in each case an agreement with the cable manufacturer is achieved when sizing the cables.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62995:2018

Annex F (informative)

Cable sizing – Calculation examples

F.1 Cables sizing calculation examples

F.1.1 General

In Annex F, some calculation examples concerning the items considered in 4.2.3 and Annex A, Annex B, Annex D and Annex E are given.

F.1.2 Example 1

Concerning use of formulae and factors considered in 4.2.3 and in Annex B, Annex D and Annex E (i.e. the load is supplied cyclically for a longer time).

A cable is to be dimensioned for a typical operation carrying DC 475 A, being cyclically switched "on" for 8 min and "off" for 40 s.

Expected ambient temperature with $T = 55\text{ °C}$.

4 cables in closed tube.

So total cycle time is 520 s and on-time is 480 s.

A cable type with $T_{c(max)} = 90\text{ °C}$ and a given current carrying capacity at $T_{ref} = 45\text{ °C}$ (according to Table B.1) are used.

Cable rating according to the procedure in 4.2.3 is then:

$$I_{load} = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int i^2 dt} = \sqrt{\frac{(475\text{ A})^2 \times 480\text{ s}}{520\text{ s}}} \approx 456,4\text{ A}$$

Now, the formula under 4.2.3 c) is used, finding:

$k_1 = 0,88$ (according to Table D.1, modification factor k_1 for ambient temperature 55 °C with $T_{c(max)} = 90\text{ °C}$)

$k_2 = 0,65$ (according to Table 2, in a closed tube [Type f]), 4 cables fully loaded)

$k_3 = 1,0$ for lifetime 100 000 h

$k_4 = 1,0$ (current load is applied in continuous operation)

$k_5 = 1,0$ (single core cable used, according to Table 1).

$$I_{cable} \geq \frac{I_{load}}{k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5} = \frac{456,4\text{ A}}{0,88 \times 0,65 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0} \approx 798\text{ A}$$

So a 300 mm^2 size conductor in a cable of this type having an $I_{cable} = 775\text{ A}$ is in theory too small.

As it is planned to replace this cable after 50 000 h of service, $k_3 = 1,10$ according to Annex E is chosen:

$$I_{\text{cable}} \geq \frac{I_{\text{load}}}{k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5} = \frac{456,4 \text{ A}}{0,88 \times 0,65 \times 1,10 \times 1,0 \times 1,0} \approx 725 \text{ A}$$

Now, a 300 mm² size conductor in a cable of this type is correctly sized.

F.1.3 Example 2

Concerning use of formulae and factors explained in 4.2.6, for a cable or bare conductor carrying a high current for a very short time (i.e. short-circuit calculation).

A short-circuit is assumed to be applied with 15 kV and 40 kA during 100 ms.

In this case, the relevant formula is given by IEC 60364-5-54:2011, 543.1.2:

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}$$

where

S is the cross-sectional area, in mm²;

I is the value (RMS) in A of prospective fault current for a fault of negligible impedance, which can flow through the protective device (see IEC 60909-0);

t is the operating time of the protective device for automatic disconnection in s;

k is a factor dependent on the material of the protective conductor, the insulation and other parts and the initial and the final temperatures (for calculation of k , see IEC 60364-5-54:2011, Annex A).

If application of the formula produces non-standard sizes, conductors of a higher standard CSA will be used.

Because there is a bare conductor, the k factor is taken from IEC 60364-5-54:2011, Table A.54.6. A copper cable is preferred, and "normal conditions" according to Table A.54.6 of IEC 60364-5-54:2011: an initial temperature of 30 °C and a maximum cable temperature of 200 °C are assumed, which gives $k = 159$.

$$S = \frac{\sqrt{40000^2 \times 0,1}}{159} \text{ mm}^2 = 79,55 \text{ mm}^2$$

As this is a non-standard size, the next higher standard cross-sectional area which is 95 mm² is chosen.

F.1.4 Example 3

Concerning use of formulae and factors explained in 4.2.7, for an insulated cable carrying a current load for a time shorter than 5 s.

A supply cable for a thermal engine starter motor should be sized.

The starter motor will operate at 2 200 A and is assumed to be switched on for 4 s.

To be able to choose the correct k factor from IEC 60364-5-54:2011, Annex A, we assume the ambient temperature to be 45 °C and an maximum end temperature of 130 °C to avoid damage of for example fixations. A copper cable is preferred.

Using the general formula for k in the beginning of IEC 60364-5-54:2011, Annex A, we get

$$k = 226 \sqrt{\ln\left(1 + \frac{130 - 45}{234,5 + 45}\right)} = 116$$

Here, the 226 value is taken for copper material in Table A.54.1 of IEC 60364-5-54:2011, and the square root term is calculated using the formula in IEC 60364-5-54:2011, Annex A.

The formula for S is the same as used in F.1.3:

$$S = \frac{\sqrt{2200^2 \times 4}}{116} \text{ mm}^2 = 38 \text{ mm}^2$$

As 38 mm² is a non-standard size, the next higher standard cross-sectional area which is 50 mm² is chosen.

F.2 Cables sizing calculation recommendation

Recommended short-circuit current ratings for rolling stock cables of 90 °C maximum conductor temperature are given in Table F.1.

Table F.1 – Recommended short-circuit current ratings for rolling stock cables of 90 °C maximum conductor temperature

Conductor cross-sectional area mm ²	Current A
1	122
1,5	183
2,5	305
4	488
6	732
10	1 220
16	1 950
25	3 050
35	4 270
50	6 100
70	8 540
95	11 590
120	14 640
150	18 300
185	22 570
240	29 280
300	36 600
400	48 800
The tabulated values of short-circuit current are applicable to cables of 90 °C maximum conductor temperature and are based upon a duration of current flow of 1 s. It is assumed the cable has an initial conductor temperature of 90 °C and that the final conductor temperature will be limited to 200 °C.	

The currents for short-circuits of different durations can be calculated using the following formula:

$$I = \frac{K \times S}{\sqrt{t}}$$

where

I is the maximum permissible short-circuit current (RMS);

K is the constant (see Table F.2);

S is the nominal cross-sectional area of the conductor (mm²);

t is the duration of short-circuit (seconds) with a maximum of 5 s.

Table F.2 – Value of K

Initial conductor temperature to final conductor temperature after short-circuit	K
90 °C to 200 °C	122
120 °C to 250 °C	126
150 °C to 350 °C	146

NOTE More details can be found in IEC 60364-4-43.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62995:2018

Annex G (informative)

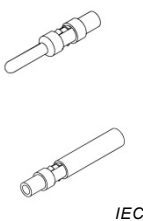
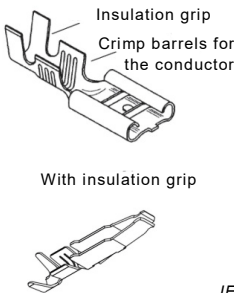
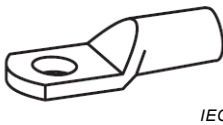
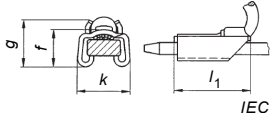
Terminations

G.1 Methods of terminating cables

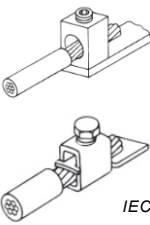
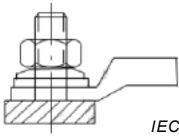
Table G.1 – Methods of terminating cables – Conductor side

Type	Mechanical aspects	Electric aspects
Crimping	– Predictable mechanical behaviour – Permanent pressure applied on core from crimping barrel around – Many materials can be used – Wide spectrum of cross-sectional areas can be used – Correct stripping length	– Permanent good electrical connection
Soldering	– Small mechanical forces only – Danger of breaking – Only certain materials can be used	– Good electrical connection
Welding	– Only certain materials can be used	– Good electrical connection
Untreated core ends (insulation stripped or displaced)	– Permanent pressure applied on core with spring-clamp technology – Unpredictable mechanical behaviour when re-terminating without precautions	– Permanent good electrical connection with spring-clamp technology – Unpredictable electrical behaviour when re-terminating without precautions
In general, soldering should be used only for internal connections of for example electronic devices or certain components if there is no risk of fatigue failure or if precautions have been taken to avoid this risk. Soldering is forbidden for rolling stock cabling between components in certain countries.		

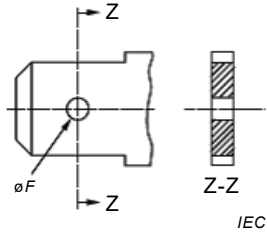
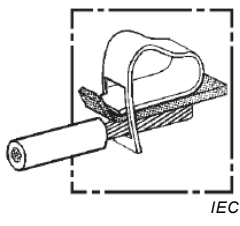
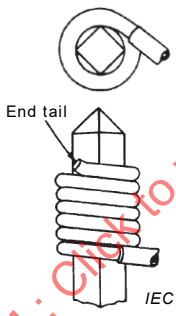
**Table G.2 – Methods of terminating cables – Terminal side –
Crimp connections**

Type	Standards	Examples	General aspects	Mechanical aspects	Electric aspects
Crimp connection Closed barrel crimp contact $CSA \leq 10 \text{ mm}^2$ $CSA > 10 \text{ mm}^2$	IEC 60352-2 IEC 62847		– Closed barrel crimp contact (machine turned) – IEC 60352-2 for $CSA \leq 10 \text{ mm}^2$ – Crimping rules for tubular lug are applicable for $CSA > 10 \text{ mm}^2$	– Vibration proof – Pull out force according to IEC 60352-2:2006, Table 1 – Pull out force according to Table G.7	– Permanent good electrical connection – Contact resistance according to IEC 60352-2:2006, Figure 6, curve A
Crimp connection Open barrel crimp contact	IEC 60352 (all parts) IEC 62847		– Open barrel crimp contact (stamped and formed) – IEC 60352-2 for $CSA \leq 10 \text{ mm}^2$	– Insulation grip to improve strain relief and vibration resistance – Pull out force according to IEC 60352-2:2006, Table 1	– Good electrical connection – Contact resistance according to IEC 60352-2:2006, Figure 6, curve A
Crimp connection Insulated clip (Faston, female connection)	IEC 61210		– Insulation material on the clip according to fire performance standards, e.g. EN 45545 series – Clip material to retain the elasticity i.e. phosphor bronze – $CSA \leq 6 \text{ mm}^2$	– Insulation support – Reinforced body to absorb vibrations – Pull out force according to IEC 61210:2010, Table 9 – Retention force according to IEC 61210:2010, Table 6	– Permanent good electrical connection – Recommended max. current load per tabs size (mm): 6,3 x 0,8: 16 A 5,0 x 0,8: 10 A 2,8 x 0,5: 5 A
Crimp connection Insulated lug (Ring terminal)	IEC 60352-2		– Insulation material on the clip according to fire performance standards, e.g. EN 45545 series – $CSA \leq 6 \text{ mm}^2$	– Insulation support – Reinforced body to absorb vibrations – Pull out force according to IEC 60352-2:2006, Table 1	– Permanent good electrical connection
Crimp connection Tubular lug	DIN 46235 NF F00-363		– Inspection hole – Chamfered cable entry – Tin plated annealed copper – Wide range of cross-sectional areas can be used	– Pull out force according to Table G.7 – Reliable repeated crimp method with calibrated tooling	– Permanent good electrical connection
Termi-point (Pin or post crimping)	DIN 41611-4		– Connection method not to be used without prior agreement of the customer – Electronic devices only	– Only for small forces – Cable insulation support	– Good electrical connection

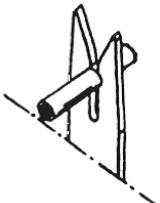
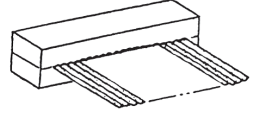
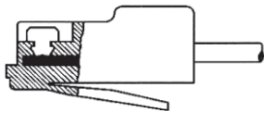
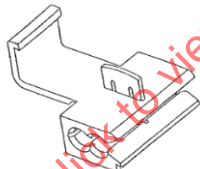
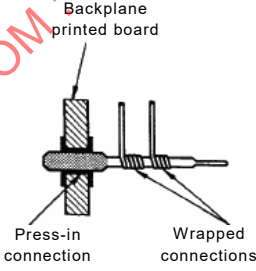
**Table G.3 – Methods of terminating cables – Terminal side –
Screwed and bolted connection**

Type	Standards	Examples	General aspects	Mechanical aspects	Electric aspects
Screw terminal (applying directly or indirectly permanent pressure on the conductor end, but not penetrating it)	IEC 60999-1 IEC 60999-2 IEC 60947-1 IEC 60947-7-1		– Untreated core ends with screw terminals is forbidden	– Contact force could decrease during time (low resistance to vibration) – Contact force could decrease during time due to ductility of the material – Pull out force according to IEC 60947-1:2007, Table 5	– Contact resistance (voltage drop) according to IEC 60947-7-1
Bolted connection (applying permanent pressure on the conductor end; having a bolt hole in the cable lug or terminal end)	IEC 60947-7-1		– Respect the sequence according to 4.22 and respect the maximum allowed number of connections according to 4.17.3 – Wide range of cross-sectional areas can be used	– Tightening torque value should be specified by manufacturer – Very high contact forces possible – Each bolted connection should be, once tightened and torque controlled, clearly identified for visual inspection (colour marking)	– Permanent good electrical connection – Contact resistance (voltage drop) according to IEC 60947-7-1
Axial screw terminal			– Connection method not to be used without prior agreement of the customer	– Sensitive to vibration and bending – Radial stresses to be avoided, adequate strain relief needed	

**Table G.4 – Methods of terminating cables – Terminal side –
Connection by clamping**

Type	Standards	Examples	General aspects	Mechanical aspects	Electric aspects
Flat quick-connect Termination (male tab connection)	IEC 61210 IEC 60947-7-1 IEC 60947-7-2		– CSA ≤ 6 mm ²	– Dimple or hole to latch the female clip – Retention force according to IEC 61210:2010, Table 6	– Permanent good electrical connection
Spring-clamp connection	IEC 60352-7 IEC 60947-1 IEC 60947-7-1 IEC 60947-7-2 IEC 60998-2-2 IEC 60999-2		– Only 1 conductor per clamping point – CSA ≤ 10 mm ² – Overlength for at least 3 re-terminations needed	– High reliability (because contact pressure on conductor remains constant over time) – Pull out force according to IEC 60947-1:2007, Table 5	– Permanent good electrical connection – Contact resistance (voltage drop) according to IEC 60947-7-1
Wire-wrap (pins or posts wrapping)	IEC 60352-1		– Minimum wire Ø ≥ 0,5 mm – Minimum 4 turns of stripped wire around the post – Minimum 1 turn of the insulated wire and wrapped at least around 3 corners of the post to ensure mechanical stresses are absorbed – Electronic devices only	– Only small dimensions – Only solid conductors – Only certain materials	– Good electrical connection – Low contact resistance because multiple contact points increase significantly the contact surface – Contact points between post corners and stripped wire are gastight

**Table G.5 – Methods of terminating cables – Terminal side –
Connection by insulation displacement or penetration**

Type	Standards	Examples	General aspects	Mechanical aspects	Electric aspects
Accessible insulation displacement connections	IEC 60352-3 IEC 60998-2-3	 Accessible ID connection IEC	–Maximum 2 conductors of the same CSA –$CSA \leq 4 \text{ mm}^2$ –Overlength for at least 3 re-terminations –Each re-termination implicates a new wire cut-off	–Mechanical locking device to overcome the low transverse extraction force	–Contact resistance according to IEC 60352-3:1993, Table 3 –Recommended max.current load: 16 A
Non-accessible insulation displacement connections	IEC 60352-4 IEC 60998-2-3	 Non-accessible ID connection IEC	–Electronic devices only –Only 1 conductor per slot –$CSA \leq 0,5 \text{ mm}^2$	–Adequate strain relief needed to avoid mechanical stresses on the contacts	–Contact resistance according to IEC 60352-4:1994, Table 2
Insulation piercing connection	IEC 60352-6 IEC 60998-2-3	 IEC	–On board diagnostics –$CSA \leq 0,5 \text{ mm}^2$	–Only small dimensions –Pull out force as per IEC 60352-6: $\geq 20 \text{ N}$ per wire	–Contact resistance according to IEC 60352-6:1997, Table 2
Penetrating the insulation	IEC 60947-7-1 IEC 60947-7-2 IEC 60998-2-3	 IEC	–Connection method not recommended	–Only small dimensions –Only certain materials	
Press-in connections	IEC 60352-5	 IEC	–Electronic devices only	–Only small dimensions –Only for small forces	

For termination methods, useful national standards exist as follows (see Table G.6).

Table G.6 – National standards for termination methods

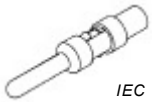
Method	Existing product standards
Crimping	NF F00-363 from 0,34 mm ² to 500 mm ² DIN 46235
Termi-point	DIN 41611-4
Soldering	NF F61-014 requires at least 55 % tin and lead
All	NF F61-030 describes in general electrical connectors for railways.
NOTE Termi-point is only used in particular equipment, not in rolling stock cabling.	

G.2 Tensile strength test values

Unless otherwise specified by the manufacturer in the detail specifications, the minimum pull out force for the different crimp methods should comply to the values stated in Table G.7. The values given in Table G.7 are for stranded cables of class 5 or 6 according to IEC 60228.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62995:2018

Table G.7 – Pull out force for crimp connections

CSA mm ²	Minimum pull out force ^a			
	N			
	 Open barrel crimp (stamped and formed) ^b	 Closed barrel crimp (machine turned) ^c	 Pre-insulated crimp (Faston and ring- terminal) ^d	 Non-insulated Cu crimp ^e
0,25	32	35	32	
0,50	60	70	56	75
0,75	85	100	84	112
1	108	130	108	150
1,5	150	195	150	225
2,5	230	325	230	375
4	310	520	310	600
6	360	780	360	780
10	380	1 000		1 300
16		1 600		1 600
25		2 000		2 500
35		2 800		3 500
50		3 000		4 500
70		4 200		5 250
95		5 700		5 700
120		7 200		7 200
150		9 000		9 000
185		11 100		11 100
240		14 400		14 400
300				18 000
400				20 000
500				20 000

^a IEC 60512-16-4, test 16d: tensile strength, with a steady exerting travelling speed of the jaws of approximately 25 mm/min to 50 mm/min axially to the wire of the specimen until the wire is pulled out or breaks.

^b IEC 60352-2:2006, Table 1.

^c For 1 mm² ≤ CSA ≤ 6 mm², apply 130 N/mm² CSA; for 10 mm² ≤ CSA ≤ 16 mm², apply 100 N/mm² CSA; for 25 mm² ≤ CSA ≤ 35 mm², apply 80 N/mm² CSA; and for CSA ≥ 50 mm², apply IEC 61238-1:2003, Table 3.

^d IEC 61210:2010, Table 9, for Faston, or IEC 60352-2:2006, Table 1, for ring terminal.

^e For CSA ≤ 4 mm² apply 150 N/mm² CSA; for 6 mm² ≤ CSA ≤ 10 mm², apply 130 N/mm² CSA; for 16 mm² ≤ CSA ≤ 35 mm², apply 100 N/mm² CSA; for 50 mm² CSA, apply 90 N/mm² CSA; for 70 mm² CSA, apply 75 N/mm² CSA; and for CSA ≥ 95 mm², apply IEC 61238-1:2003, Table 3.

Annex H (normative)

Tests on marking when using heat-shrinkable sleeves

H.1 General

If the marking is by heat-shrinkable sleeves, the following tests shall be used for demonstrating the quality of the marking.

H.2 Preparation of specimens

The test marking should be carried out on the sleeves according to supplier's requirements. The markings should be tested as described in Clause H.3 after the specimens have been prepared as described in Table H.1.

At least one specimen should be used for each test (i.e. each line in Table H.1).

Table H.1 – Preparation of heat-shrinkable sleeve for test of marking quality

Type of preparation	Expanded state	Unrestricted recovery state
Thermal ageing: The test specimens in the unrestricted recovery state shall be kept in a temperature of $(120 \pm 2) ^\circ\text{C}$ for a duration of (240 ± 2) h.		X
Resistance to mineral oil: The test specimens in the expanded state shall be immersed for (70 ± 1) h in test fluid IRM902 maintained at a temperature of $(50 \pm 1) ^\circ\text{C}$.	X	
Resistance to liquid fuel: The test specimens in the expanded state shall be submitted to the action of test fluid IRM903 for (168 ± 2) h maintained at a temperature of $(70 \pm 1) ^\circ\text{C}$.	X	
Immersion for 1 min in a normal hydrochloric acid solution at a temperature of $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$.	X	
Immersion for 1 min in a normal sodium hydroxide solution at a temperature of $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$.	X	
A normal solution is a concentration with one mole of the substance per litre. The resistance to liquid fuel is only required when there is possibility of the sleeves being subject to contamination from diesel fuel.		

H.3 Testing of specimens

The specimens in the expanded state and the specimens in the unrestricted recovery state are placed on a flat support and rubbed with a soft pencil eraser.

The rubbing action is performed by applying the eraser firmly over the whole marked length. The maximum manually applicable pressure is used for this test.

The marking is submitted to 10 passes of the eraser at the rate of one pass every 2 s or 3 s.

H.4 Result of test

The marking should remain legible, using normal lighting, after the specimens have been submitted to the tests.

Annex I (informative)

Effects of the number of earth connections to a cable screen

The effects of shielding, depending on the frequency of the disturbances and depending on the number of connected points between screen and earth, can generally be explained by Table I.1.

Table I.1 – Effects of shielding

Type of field	Range of frequency (approximately)	Effects when one end of the screen is earthed	Effects when at least both ends of the screen are earthed
Electrical field E	$f < 1 \text{ MHz}$	Good	Good ^a
Electrical field E	$f > 1 \text{ MHz}$	Almost no shielding effects	Good
Magnetic field H	$f < 1 \text{ kHz}$	Almost no shielding effects	Bad ^b
Magnetic field H	$f > 1 \text{ kHz}$	Almost no shielding effects	Good
^a Low or no return currents flowing through the screen (caused by potential differences between screen earthing points) are essential and achieved by a good earthing concept.			
^b The undesirable effects are avoided when the signal is symmetrical (differential-mode).			

Annex J (informative)

Differences of electrochemical potentials between some conductive materials

Table J.1 shows the differences of electrochemical potentials between some conductive materials.

**Table J.1 – Differences of electrochemical potentials between
some conductive materials (in mV)**

Considered metal	Coupled metal																					
	Platinum	Gold/Carbon	Stainless steel	Titanium	Silver – Mercury	Nickel	Copper alloy	Copper	Alu-bronze Brass 30 % ZN	Silicon	Brass – 50 % ZN	Bronze	Tin	Lead	Light alloy NSA 3001	Steels	Aluminium A5	Cadmium	Chromium	Zinc	Manganese	Magnesium
Platinum	0	130	250	340	350	430	450	570	600	685	700	770	800	840	940	1000	1 090	1 100	1 200	1 400	1 470	1 950
Gold/Carbon	130	0	110	210	220	300	320	440	470	535	570	640	670	710	810	870	960	970	1 070	1 270	1 340	1 620
Stainless steel	250	110	0	90	100	160	200	320	350	415	450	520	550	590	690	750	840	850	950	1 150	1 220	1 700
Titanium	340	210	90	0	10	90	110	230	260	325	360	430	460	500	600	680	750	760	860	1 060	1 150	1 610
Silver - Mercury	350	220	100	10	0	80	100	220	250	315	350	420	450	490	590	650	740	750	850	1 050	1 120	1 600
Nickel	430	300	180	90	80	0	20	140	170	235	270	340	370	410	510	570	650	670	770	970	1 040	1 520
Copper alloy	450	320	200	110	100	20	0	120	150	215	250	320	350	390	490	530	640	650	750	950	1 020	1 500
Copper	570	440	320	230	220	140	120	0	30	95	130	200	230	270	370	430	520	530	630	830	900	1 380
Alu-bronze Brass 30 % ZN	600	470	350	260	250	170	150	30	0	65	100	170	200	240	340	400	490	500	600	800	870	1 350
Silicon	665	535	415	325	315	235	215	95	65	0	35	105	135	175	275	335	425	435	535	735	805	1 285
Brass 50 % ZN	700	570	520	360	350	270	250	130	100	35	0	70	100	140	240	300	390	400	500	700	770	1 250
Bronze	770	640	550	430	420	340	320	200	170	105	70	0	30	70	170	230	320	330	435	630	700	1 180
Tin	800	670	590	460	450	370	350	230	200	135	100	30	0	40	140	200	290	300	400	600	670	1 150
Lead	840	710	680	500	490	410	390	270	240	175	140	70	40	0	100	160	250	260	300	560	630	1 110
Light alloy NSA 3001	940	810	690	600	590	510	490	370	340	275	240	170	140	100	0	60	150	160	260	460	530	1 010
Steels	1 000	870	750	660	650	570	550	430	400	335	300	230	200	160	60	0	90	150	200	400	470	950
Aluminium A5	1 090	960	840	750	740	650	640	520	490	425	390	320	290	250	150	90	0	100	110	310	380	860
Cadmium	1 100	970	850	760	750	670	650	530	500	435	400	330	300	260	160	150	100	0	100	300	370	850
Chromium ^a	1 200	1 070	950	860	850	770	750	630	600	535	500	430	400	360	260	200	110	100	0	200	270	750
Zinc	1 400	1 270	1 150	1 050	1 050	970	950	830	800	735	700	630	600	560	460	400	310	300	200	0	70	550
Manganese	1 470	1 340	1 220	1 150	1 120	1 040	1 020	900	870	805	770	700	670	630	530	470	380	370	270	70	0	480
Magnesium	1 950	1 620	1 700	1 610	1 600	1 520	1 500	1 380	1 350	1 285	1 250	1 180	1 150	1 110	1 010	950	860	850	750	550	480	0

Below the line....., considered metal is attacked.

Above the line——, coupled metal is attacked.

Between these two thick lines, the contact is practically neutral.

Electrolyte: water with 2 % NaCl salt.

Source: EN 3197:2010.

NOTE 1 Dissimilar metals and alloys have different electrochemical potentials and when two or more come into contact, a galvanic couple is set up. The potential difference between the dissimilar metals is the driving force for the accelerated attack on the anode member of the galvanic couple.

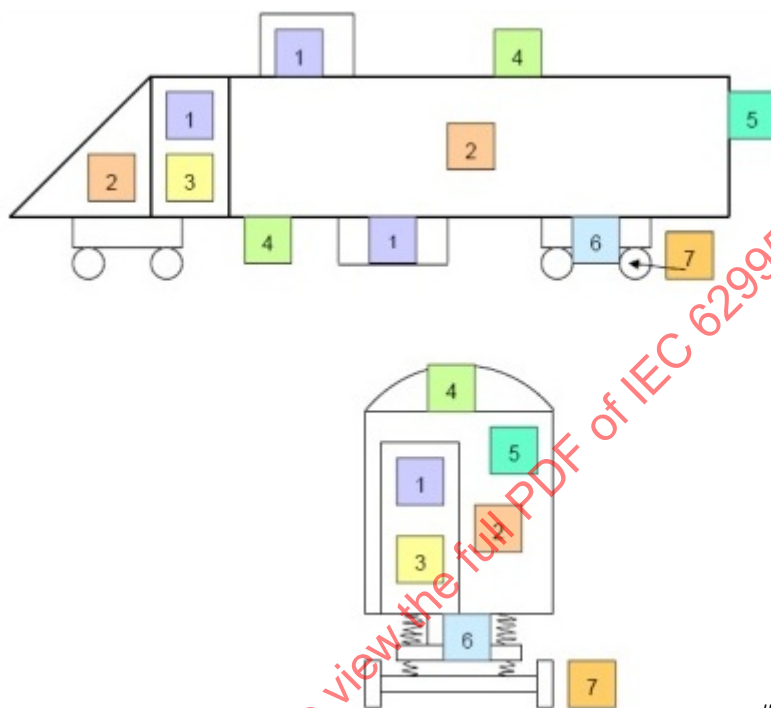
NOTE 2 The galvanic effect is influenced by the surface ratio of the two metals. The galvanic corrosion effect on the anode is increasing when the size of the anode is becoming smaller than the size of the cathode.

^a In ambient as sea water or salt solutions, the chromium is depassivated more or less with the time and its potential for dissolution decreases (to 250 mV only in relation to platinum which tends to reduce the effect of corrosion on the metals which are coupled to it).

Annex K (informative)

Locations on board rolling stock to be distinguished

The locations on board rolling stock to be distinguished are showed in Figure K.1, with definitions and examples in Table K.1.



IEC

Figure K.1 – Distinguishing locations on board rolling stock

Table K.1 – Distinguishing locations on board rolling stock

Location according to Figure K.1	Definition	Examples	Examples of consequences on requirements
1	Closed electrical operating area	Inside vehicle cubicle (weather-protected) Outside vehicle cubicle (weather-protected) Either under-frame or upper-roof	Different vibration and shock levels depending on the installation on bogie or car body Resistance to ozone for exposed elastomer is required for areas with power switching ^a
2	Cabin and interiors	Passenger vehicle compartment and driver cabin	Low IP degree required (air with low dust and chemical contamination)
3	Closed electrical operating area; Forced filtered ventilation with outside air	Machinery compartment	Higher temperature resistance If diesel engine, then resistance to fuels and fluids
4	Outside static applications	Under car body, roof (non-weather protected locations)	Non-weather protected location: higher IP degree For rubber and plastic parts: – resistance to light (UV); – resistance to ozone.
5	Outside dynamic applications	Connector for inter-vehicle connections	Non weather-protected location: higher IP degree For rubber and plastic parts: – resistance to light (UV); – resistance to ozone. Higher mechanical resistance
6	Outside highly dynamic applications	Bogie	Non weather-protected location: higher IP degree For rubber and plastic parts: – resistance to light (UV); – resistance to ozone. For metallic parts: resistance to salt-mist and corrosion Higher mechanical resistance High vibration and shock constraints Resistance to fuel and fluids
7	Outside highly dynamic applications	Axles	Non-weather protected location: higher IP degree For rubber and plastic parts: – resistance to light (UV); – resistance to ozone. For metallic parts: resistance to salt-mist and corrosion Higher mechanical resistance Very high vibration and shock constraints Resistance to fuels and fluids

NOTE Source of above information is IEC 62847.

^a Location 1 is intended to be used in conjunction with other locations (e.g. on car body or bogie).

Bibliography

IEC 60050-461:2008, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 461: Electric cables*

IEC 60216-1, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*

IEC 60331-1, *Tests for electric cable under fire conditions – Circuit integrity – Part 1: Test method for fire with shock at a temperature of at least 830 °C for cables of rated voltage up to and including 0,6/1,0 kV and with an overall diameter exceeding 20 mm*

IEC 60331-2, *Tests for electric cable under fire conditions – Circuit integrity – Part 2: Test method for fire with shock at a temperature of at least 830 °C for cables of rated voltage up to and including 0,6/1,0 kV and with an overall diameter not exceeding 20 mm*

IEC 60352-1, *Solderless connections – Part 1: Wrapped connections – General requirements, test methods and practical guidance*

IEC 60352-2:2006, *Solderless connections – Part 2: Crimped connections – General requirements, test methods and practical guidance*

IEC 60352-3:1993, *Solderless connections – Part 3: Solderless accessible insulation displacement connections – General requirements, test methods and practical guidance*

IEC 60352-4:1994, *Solderless connections – Part 4: Solderless non-accessible insulation displacement connections – General requirements, test methods and practical guidance*

IEC 60352-5, *Solderless connections – Part 5: Press-in connections – General requirements, test methods and practical guidance*

IEC 60352-6:1997, *Solderless connections – Part 6: Insulation piercing connections – General requirements, test methods and practical guidance*

IEC 60352-7, *Solderless connections – Part 7: Springclamp connections – General requirements, test methods and practical guidance*

IEC 60364-4-43, *Low-voltage electrical installations – Part 4-43: Protection for safety – Protection against overcurrent*

IEC 60423, *Conduit systems for cable management – Outside diameters of conduits for electrical installations and threads for conduits and fittings*

IEC 60512-16-4, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 16-4: Mechanical tests on contacts and terminations – Test 16d: Tensile strength (crimped connections)*

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

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

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

IEC 60947-7-2, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 7-2: Ancillary equipment – Protective conductor terminal blocks for copper conductors*

IEC 60909-0, *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents*

IEC 60998-2-2, *Connecting devices for low-voltage circuits for household and similar purposes – Part 2-2: Particular requirements for connecting devices as separate entities with screwless-type clamping units*

IEC 60998-2-3, *Connecting devices for low-voltage circuits for household and similar purposes – Part 2-3: Particular requirements for connecting devices as separate entities with insulation-piercing clamping units*

IEC 60999-1, *Connecting devices – Electrical copper conductors – Safety requirements for screw-type and screwless-type clamping units – Part 1: General requirements and particular requirements for clamping units for conductors 0,2 mm² up to 35 mm² (included)*

IEC 60999-2, *Connecting devices – Electrical copper conductors – Safety requirements for screw-type and screwless-type clamping units – Part 2: Particular requirements for clamping units for conductors above 35 mm² up to 300 mm² (included)*

IEC 61210:2010, *Connecting devices – Flat quick-connect terminations for electrical copper conductors – Safety requirements*

IEC 61238-1:2003, *Compression and mechanical connectors for power cables for rated voltages up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) – Part 1: Test methods and requirements*

IEC 61310-2, *Safety of machinery – Indication, marking and actuation – Part 2: Requirements for marking*

IEC 61386-1, *Conduit systems for cable management – Part 1: General requirements*

IEC 62821-1:2015, *Electric cables – Halogen-free, low smoke, thermoplastic insulated and sheathed cables of rated voltages up to and including 450/750 V – Part 1: General requirements*

IEC 63010-2:2017, *Halogen-free thermoplastic insulated and sheathed flexible cables of rated voltages up to and including 300/300 V – Part 2: Test methods*

ISO 1302, *Geometrical Product Specifications (GPS) – Indication of surface texture in technical product documentation*

EN 45545 (all parts), *Railway applications – Fire protection on railway vehicles*

EN 45545-1, *Railway applications – Fire protection on railway vehicles – Part 1: General*

EN 45545-2, *Railway applications – Fire protection on railway vehicles – Part 2: Requirements for fire behaviour of materials and components*

EN 45545-3, *Railway applications – Fire protection on railway vehicles – Part 3: Fire resistance requirements for fire barriers*

EN 45545-5:2013, *Railway applications – Fire protection on railway vehicles – Part 5: Fire safety requirements for electrical equipment including that of trolley buses, track guided buses and magnetic levitation vehicles*

EN 50200, *Method of test for resistance to fire of unprotected small cables for use in emergency circuits*

EN 50264 (all parts), *Railway applications – Railway rolling stock power and control cables having special fire performance*

EN 50306 (all parts), *Railway applications – Railway rolling stock cables having special fire performance – Thin wall*

EN 50306-2, *Railway applications – Railway rolling stock cables having special fire performance – Thin wall – Part 2: Single core cables*

EN 50355:2013, *Railway applications – Railway rolling stock cables having special fire performance – Guide to use*

EN 50362, *Method of test for resistance to fire of larger unprotected power and control cables for use in emergency circuits*

EN 50382 (all parts), *Railway applications – Railway rolling stock high temperature power cables having special fire performance*

EN 50553, *Railway applications – Requirements for running capability in case of fire on board of rolling stock*

EN 3197:2010, *Aerospace series – Design and Installation of Aircraft Electrical and Optical Interconnection Systems*

National standards useful for termination methods (see Annex G)

DIN 41611-4, *Solderless electrical connections; clip connections; terminology, requirements, testing*

DIN 46235, *Cable lugs; for compression connections, cover plate type, for copper conductors*

NF F00-363, *Matériel ferroviaire en général – Produits à sertir pour connexions électriques – Cosses et prolongateurs nus ou préisolés. Embouts préisolés. Clips préisolés*

NF F61-014, *Matériel roulant ferroviaire – Raccordement de la tresse des conducteurs et des câbles électriques blindés*

NF F61-030, *Matériel roulant ferroviaire – Connecteurs électriques – Généralités*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	74
1 Domaine d'application	76
2 Références normatives	76
3 Termes, définitions et termes abrégés	77
3.1 Termes et définitions	77
3.2 Termes abrégés	80
4 Exigences techniques	80
4.1 Exigences générales	80
4.2 Choix du type et de la taille des câbles	80
4.2.1 Généralités	80
4.2.2 Choix de la taille des câbles de commande	82
4.2.3 Choix de la taille des câbles d'alimentation électrique en fonction du courant de charge permanent	82
4.2.4 Choix de la taille des câbles d'alimentation électrique en fonction des caractéristiques assignées du dispositif de protection	87
4.2.5 Câbles de moteurs	88
4.2.6 Câbles de liaison de protection	88
4.2.7 Câbles utilisés sous courant de courte durée (moins de 5 s)	88
4.3 Mise en faisceau des câbles	89
4.4 Souplesse des câbles	89
4.5 Section minimale des conducteurs	89
4.6 Utilisation de la couleur vert/jaune	90
4.7 Rayons de courbure et autres exigences mécaniques	90
4.8 Reprise de connexion en bout de câble	92
4.9 Jeux de barres	92
4.10 Raccordements aux jeux de barres	93
4.11 Séparation des câbles présentant des niveaux de tension différents et pour des raisons de sécurité	93
4.12 Dispositions pour la rénovation et l'entretien, y compris l'inspection et la réparation	95
4.13 Mesures anti-incendie, pose des câbles et comportement du câblage en cas d'incendie	96
4.14 Disposition de réserves	97
4.14.1 Disposition de réserves pour le câblage de commande	97
4.14.2 Disposition de réserves pour le câblage d'alimentation auxiliaire	97
4.15 Exigences relatives aux fixations	97
4.16 Distances d'isolement dans l'air et lignes de fuite	98
4.17 Exigences relatives aux terminaisons électriques	98
4.17.1 Généralités	98
4.17.2 Terminaisons électriques aux extrémités de câbles	99
4.17.3 Terminaisons électriques du côté de la borne ou de l'équipement	99
4.18 Utilisation de manchons thermorétractables	101
4.19 Connexions pour les courants de retour	102
4.20 Stockage des câbles	102
4.21 Conduits de câbles	102
4.22 Raccordements électriques par serrage mécanique	103
5 Exigences de compatibilité électromagnétique (CEM)	106
5.1 Généralités	106

5.2	Catégories de câbles	106
5.3	Séparation des câbles	106
5.4	Conducteur de retour	107
5.5	Utilisation de la structure conductrice.....	107
5.6	Blindage et mise à la terre	107
5.7	Raccordement d'alimentation par batterie	108
5.8	Lignes de bus de données	108
6	Marquage d'identification	108
6.1	Généralités	108
6.2	Marquage pour l'identification des câbles et jeux de barres.....	109
6.3	Marquage d'identification des borniers, des bornes individuelles, des fiches et des réceptacles.....	109
6.4	Marquage des isolateurs	110
6.5	Marquage d'avertissement contre les chocs électriques	110
6.6	Marquage à l'aide de manchons thermorétractables	110
7	Essais	110
7.1	Remarques générales concernant les essais	110
7.2	Essais diélectriques	110
7.2.1	Généralités	110
7.2.2	Essai de tenue en tension.....	111
7.2.3	Essai d'impédance d'isolation	113
Annexe A (normative)	Dimensionnement des câbles – Calcul dans des conditions de courant de courte durée	114
Annexe B (informative)	Dimensionnement des câbles – Exemples de caractéristiques assignées de courant.....	115
Annexe C (normative)	Dimensionnement des câbles – Calcul des caractéristiques assignées de courant pour les classes de températures autres que 90 °C	117
Annexe D (normative)	Dimensionnement des câbles – Facteur de correction k_1 en fonction de la température ambiante prévue	118
Annexe E (informative)	Dimensionnement des câbles – Prévion de la durée de vie thermique des câbles.....	119
E.1	Considérations générales sur la durée de vie des câbles	119
E.2	Réduction de la durée de vie des câbles	120
E.3	Augmentation de la durée de vie des câbles	121
Annexe F (informative)	Dimensionnement des câbles – Exemples de calculs.....	122
F.1	Exemples de calculs pour le dimensionnement des câbles.....	122
F.1.1	Généralités	122
F.1.2	Exemple 1	122
F.1.3	Exemple 2	123
F.1.4	Exemple 3	123
F.2	Recommandation pour le calcul de dimensionnement des câbles.....	124
Annexe G (informative)	Terminaisons	126
G.1	Méthodes de raccordement des câbles	126
G.2	Valeurs de l'essai de résistance à la traction.....	131
Annexe H (normative)	Essais sur le marquage lors de l'utilisation de manchons thermorétractables	133
H.1	Généralités	133
H.2	Préparation des éprouvettes	133
H.3	Réalisation des essais	134

H.4	Résultat de l'essai.....	134
Annexe I (informative)	Effets du nombre de mises à la terre d'un écran de câble	135
Annexe J (informative)	Différences de potentiel électrochimique entre certains matériaux conducteurs.....	136
Annexe K (informative)	Emplacements à distinguer à bord du matériel roulant.....	137
Bibliographie.....		139

Figure 1	Exemple de condition de court-circuit où la section du câble a une influence sur le comportement du dispositif de protection	82
Figure 2	Conditions de regroupement et d'installation des câbles	87
Figure 3	Emplacements du matériel roulant où s'applique la règle de la section minimale des conducteurs.....	90
Figure 4	Définition du rayon de courbure interne.....	91
Figure 5	Exemples de protection mécanique du câblage	92
Figure 6	Séparation des câbles selon la distance exigée: $D > 2d$ et $D > 0,1$ m	94
Figure 7	Exemples de séparation des câbles par des barrières ou une isolation	94
Figure 8	Dimensions pour le calcul de la surface utile d'un contact (exemple pour une cosse de câble).....	101
Figure 9	Exemple d'ordre de montage des éléments d'un raccordement par serrage mécanique (écrou).....	104
Figure 10	Exemple d'ordre de montage des éléments d'un raccordement par serrage mécanique (connection boulonnée).....	105
Figure 11	Exemple d'ordre de montage des éléments d'un raccordement par serrage mécanique (vis+écrou).....	105
Figure 12	Exemples de constructions de câbles ou de fiches où l'identification résulte de la configuration	109
Figure K.1	Distinction des emplacements à bord du matériel roulant.....	137

Tableau 1	Facteur de correction k_5 pour conducteurs individuels dans un câble à plusieurs conducteurs	85
Tableau 2	Facteur de correction k_2 selon le type d'installation (conditions de regroupement et d'installation).....	86
Tableau 3	Choix de la taille des âmes du câble en fonction des caractéristiques assignées du dispositif de protection	88
Tableau 4	Rayons de courbures internes minimaux R pour les applications statiques	91
Tableau 5	Catégories de câbles en termes de compatibilité électromagnétique	106
Tableau 6	Distances minimales entre câbles de catégories CEM différentes.....	107
Tableau 7	Tensions d'essai selon les tensions à bord	112
Tableau 8	Tensions d'essai selon les tensions de ligne d'alimentation	113
Tableau A.1	Facteur de correction k_4	114
Tableau B.1	Exemples de caractéristiques assignées de courant pour les câbles à gaine normalisée, avec une température d'âme maximale en service de 90 °C	115
Tableau C.1	Coefficient k^* à appliquer pour comparer les caractéristiques assignées de courant pour des températures d'âme maximales en service de 90 °C à d'autres classes de températures	117
Tableau D.1	Facteur de correction k_1	118
Tableau E.1	Température pour la durée de vie prévue	120

Tableau E.2 – Exemples de valeurs du facteur de correction k_3 permettant la réduction de la durée de vie prévue des câbles pour un câble de 90 °C	120
Tableau F.1 – Intensités recommandées de courant assigné de court-circuit pour les câbles du matériel roulant ayant une température d'âme maximale de 90 °C	125
Tableau F.2 – Valeur de K	125
Tableau G.1 – Méthodes de raccordement des câbles – Côté conducteur.....	126
Tableau G.2 – Méthodes de raccordement des câbles – Côté bornes – Raccordements par sertissage	127
Tableau G.3 – Méthodes de raccordement des câbles – Côté bornes – Raccordements par vissage et serrage mécanique	128
Tableau G.4 – Méthodes de raccordement des câbles – Côté bornes – Connexion par serrage	129
Tableau G.5 – Méthodes de raccordement des câbles – Côté bornes – Connexion autodénudante ou par pénétration	130
Tableau G.6 – Normes nationales relatives aux méthodes de raccordement	131
Tableau G.7 – Résistance à la traction pour raccordements par sertissage	132
Tableau H.1 – Préparation des manchons thermorétractables en vue des essais de qualité du marquage	133
Tableau I.1 – Effets du blindage	135
Tableau J.1 – Différences de potentiel électrochimique entre certains matériaux conducteurs (en mV).....	136
Tableau K.1 – Distinction des emplacements à bord du matériel roulant	138

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPLICATIONS FERROVIAIRES – MATÉRIEL ROULANT – RÈGLES D'INSTALLATION DU CÂBLAGE

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers, et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 62995 a été établie par le comité d'études 9 de l'IEC: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

Cette norme est basée sur l'EN 50343:2014 et l'EN 50343 A1:2017.

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

FDIS	Rapport de vote
9/2378/FDIS	9/2406/RVD

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62995:2018

APPLICATIONS FERROVIAIRES – MATÉRIEL ROULANT – RÈGLES D'INSTALLATION DU CÂBLAGE

1 Domaine d'application

Le présent document définit les exigences relatives à l'installation du câblage sur les véhicules ferroviaires et dans les compartiments électriques sur les véhicules ferroviaires, y compris les trains à sustentation magnétique et les trolleybus.

NOTE En ce qui concerne les trolleybus, le présent document s'applique à l'ensemble du système de traction électrique, y compris les circuits de captage du courant, les convertisseurs de puissance et leurs circuits de commande respectifs. L'installation des autres circuits est traitée par les normes relatives aux véhicules routiers, par exemple, celles traitant des autobus à moteur à combustion.

Le présent document décrit le câblage utilisé pour établir des liaisons électriques entre les différents équipements électriques, y compris les câbles, les jeux de barres, les bornes et les fiches/réceptacles. Elle ne prend pas en considération les conducteurs reposant sur des effets spéciaux, tels que les câbles à fibres optiques ou les âmes creuses (guides d'ondes).

Les critères de choix des matériaux, énoncés ci-après, s'appliquent aux câbles à conducteurs en cuivre.

Le présent document ne s'applique pas aux véhicules suivants:

- véhicules à usage spécial, tels que machines de pose de voies, de nettoyage de ballast et de transport du personnel;
- véhicules utilisés à des fins de divertissement dans les fêtes foraines;
- véhicules d'exploitation minière;
- véhicules électriques;
- funiculaires.

2 Références normatives

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

IEC 60228, *Ames des câbles isolés*

IEC 60332-1-2, *Essais des câbles électriques et à fibres optiques soumis au feu – Partie 1-2: Essai de propagation verticale de la flamme sur conducteur ou câble isolé – Procédure pour flamme à prémélange de 1 kW*

IEC 60332-3-24, *Essais des câbles électriques et des câbles à fibres optiques soumis au feu – Partie 3-24: Essai de propagation verticale de la flamme des fils ou câbles en nappes en position verticale – Catégorie C*

IEC 60332-3-25, *Essais des câbles électriques et des câbles à fibres optiques soumis au feu – Partie 3-25: Essai de propagation verticale de la flamme des fils ou câbles en nappes en position verticale – Catégorie D*

IEC 60352 (toutes les parties), *Connexions sans soudure*

IEC 60364-5-54:2011, *Installations électriques basse-tension – Partie 5-54: Choix et mise en œuvre des matériels électriques – Installations de mise à la terre et conducteurs de protection*

IEC 60684-3-212, *Gaines isolantes souples – Partie 3: Spécifications pour types particuliers de gaines – Feuille 212: Gaines thermorétractables en polyoléfine*

IEC 60684-3-216, *Gaines isolantes souples – Partie 3: Spécifications pour types particuliers de gaines – Feuille 216: Gaines thermorétractables, retardées à la flamme, au risque de feu limité*

IEC 60684-3-271, *Gaines isolantes souples – Partie 3: Spécifications pour types particuliers de gaines – Feuille 271: Gaines thermorétractables en élastomère, retardées à la flamme, résistant aux fluides, rapport de rétreint 2:1*

IEC 60695-7-2:2011, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 7-2: Toxicité des effluents du feu – Résumé et pertinence des méthodes d'essai*

IEC 60757, *Code de désignation de couleurs*

IEC 61034-2, *Mesure de la densité de fumées dégagées par des câbles brûlant dans des conditions définies – Partie 2: Procédure d'essai et exigences*

IEC 61133:2016, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais de matériel roulant après achèvement et avant mise en service*

IEC 61180, *Techniques des essais à haute tension pour matériel à basse tension – Définitions, exigences relatives aux essais, matériel d'essai*

IEC 61991, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Dispositions de protection contre les dangers électriques*

IEC 62236-3-1, *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique – Partie 3-1: Matériel roulant – Trains et véhicules complets*

IEC 62236-3-2, *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique – Partie 3-2: Matériel roulant – Appareils*

IEC 62497-1, *Applications ferroviaires – Coordination de l'isolement – Partie 1: Exigences fondamentales – Distances d'isolement dans l'air et lignes de fuite pour tout matériel électrique et électronique*

IEC 62498-1, *Applications ferroviaires – Conditions d'environnement pour le matériel – Partie 1: Equipement embarqué du matériel roulant*

IEC 62847, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Connecteurs électriques – Exigences et méthodes d'essai*

3 Termes, définitions et termes abrégés

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1.1

câble isolé

ensemble constitué par:

- un ou plusieurs conducteurs isolés (blindés ou non),
- leur revêtement individuel éventuel,
- la protection d'assemblage éventuelle,
- le ou les écrans éventuels,
- la gaine éventuelle

3.1.2

âme

partie d'un câble dont la fonction spécifique est de conduire le courant

[SOURCE: IEC 60050-461:2008, 461-01-01]

3.1.3

conducteur

conducteur isolé

ensemble comprenant l'âme, son enveloppe isolante et ses écrans éventuels

[SOURCE: IEC 60050-461:2008, 461-04-04, modifié – La note a été supprimée.]

3.1.4

âme massive

âme constituée d'un fil unique

[SOURCE: IEC 60050-461:2008, 461-01-06, modifié – La note a été supprimée.]

3.1.5

âme câblée

âme constituée d'un ensemble de fils dont généralement la plupart ont la forme d'une hélice

[SOURCE: IEC 60050-461:2008, 461-01-07, modifié – Les notes ont été supprimées.]

3.1.6

jeu de barres

conducteur constitué d'un profilé métallique rigide

3.1.7

écran <d'un câble>

couche(s) conductrice(s) ayant pour fonction d'imposer la configuration du champ électromagnétique à l'intérieur du câble et/ou de protéger le câble contre toute influence électromagnétique externe

3.1.8

faisceau

groupe de câbles reliés ensemble

3.1.9

raccordement par serrage mécanique

connexion par laquelle la pression de contact sur l'âme du câble est obtenue par boulonnage

[SOURCE: IEC 60050-461:2008, 461-19-05]

3.1.10

sertissage

raccordement de câble dans lequel une connexion permanente est réalisée par pression, entraînant la déformation ou la mise en forme d'une partie du fût de l'extrémité autour de l'âme d'un câble

3.1.11

connexion par bridage à ressort

raccordement de borne dans lequel la pression est appliquée entre l'âme du câble et la borne au moyen d'un ressort

3.1.12

pénétration de l'isolant <connexion>

raccordement de borne dans lequel le contact avec l'âme est établi au moyen de mâchoires qui pénètrent l'isolant

3.1.13

fiche

connecteur destiné à être raccordé à l'extrémité libre d'une âme ou d'un câble isolé(e), à être inséré dans le réceptacle correspondant, ou à être facilement retiré quand cela est nécessaire

3.1.14

réceptacle

connecteur destiné à être monté sur une surface rigide et à être accouplé à une fiche, de sorte que les âmes à l'intérieur du réceptacle soient en contact électrique avec celles de la fiche

3.1.15

manchon thermorétractable

tube qui, lorsqu'il atteint une température critique suite à une exposition à une source de chaleur au moment de sa mise en place, réduit son diamètre de façon permanente tandis que son épaisseur de paroi augmente

3.1.16

constructeur

organisme responsable de la fourniture, pour l'acheteur, d'un ou de plusieurs véhicules, équipements ou groupes d'équipements

3.1.17

acheteur

organisme qui passe commande du ou des véhicules, équipements ou groupes d'équipements, et qui est chargé de négocier directement avec le constructeur

3.1.18

collier serre-câbles

construction mécanique nécessaire pour maintenir les câbles ou ensembles de câbles ensemble, ou pour les fixer à un endroit défini

3.1.19

courant de courte durée

cas de fonctionnement donné dans lequel un circuit électrique transporte un courant qui introduit une certaine quantité de chaleur dans le circuit électrique, faisant généralement augmenter sa température

Note 1 à l'article: Le terme "courte durée" signifie que l'échange de chaleur avec le matériau environnant n'est pas significatif.

3.2 Termes abrégés

CA	courant alternatif
CSA (cross-sectional area)	aire de la section ou section
CC	courant continu
CEM	compatibilité électromagnétique
IP (ingress protection)	indice international de protection
UV	ultraviolet

4 Exigences techniques

4.1 Exigences générales

Les câbles, ainsi que les accessoires et matériaux employés pour leur installation, doivent subir des essais de type, être choisis d'une taille adéquate et installés de façon à ce qu'ils puissent remplir leur fonction dans leurs conditions d'exploitation. La taille des câbles (y compris celle des jeux de barres et des âmes nues), ainsi que leur installation, doivent prendre en considération les contraintes particulières auxquelles est généralement soumis le matériel roulant. Les matériaux employés et les méthodes de câblage mises en œuvre doivent être de nature à éviter les contraintes et les frottements; les longueurs excessives de câble sans fixation doivent être évitées.

Les câbles à bord du matériel roulant doivent être exclusivement utilisés pour la transmission, la distribution et le captage de l'électricité, les commandes électriques ou les systèmes de surveillance. Tous les éléments du câblage doivent être choisis, installés, protégés, utilisés et entretenus de façon à éviter tout danger (dangers électriques, dangers d'incendie, problèmes de compatibilité électromagnétique, par exemple).

Les raccordements électriques doivent être réalisés de telle sorte qu'un débranchement intempestif ou involontaire soit impossible, et que la liaison ne puisse être rompue, en conditions de service.

Les effets qui ont un impact sur les raccordements électriques et qu'il convient de prendre en considération comprennent au moins:

- les effets de la chaleur;
- les efforts dynamiques induits par des chocs, des vibrations ou des mouvements de la caisse du véhicule, et
- le fluage du matériau.

En ce qui concerne les conditions d'environnement, l'IEC 62498-1 doit s'appliquer.

Lors de l'étude des conditions d'exploitation et d'environnement, il convient de tenir compte des emplacements décrits à l'Annexe K.

Pour l'utilisation adéquate des connecteurs, l'IEC 62847 doit s'appliquer.

Afin d'assurer la protection contre les dangers électriques, le câblage installé doit être conforme à l'IEC 61991.

4.2 Choix du type et de la taille des câbles

4.2.1 Généralités

Lors du choix des câbles ou des jeux de barres, il convient de prendre en considération les conditions d'exploitation. Il convient que ces conditions comprennent, sans toutefois s'y limiter, les paramètres suivants:

- la tension;
- le courant;
- les harmoniques plus élevés par convertisseurs électroniques (effet de peau);
- la surintensité;
- le courant de courte durée;
- la chute de tension;
- le courant de court-circuit;
- la forme et la fréquence du courant;
- les caractéristiques assignées du dispositif de protection;
- le groupement des câbles;
- la température ambiante et la température induite par le courant de charge;
- les méthodes d'installation;
- la durée de vie prévue des câbles;
- la présence de pluie, de vapeur ou de neige, ou l'accumulation d'eau de condensation;
- la présence de substances corrosives, polluantes ou néfastes;
- les contraintes mécaniques;
- les rayonnements, tels que la lumière du soleil.

Il convient de prendre en considération la durée de vie prévue du câblage en fonction de la durée de vie prévue du véhicule.

Le type de câble (c'est-à-dire la famille à laquelle il appartient) doit être choisi conformément aux normes ou réglementations applicables selon le cas.

NOTE 1 Par exemple, l'EN 50264 (toutes les parties), l'EN 50382 (toutes les parties), l'EN 50306 (toutes les parties) et l'EN 45545 (toutes les parties).

Il convient de prendre en considération les exigences de sécurité incendie relatives aux câbles et au câblage considérés.

Les câbles destinés aux circuits d'alimentation, aux circuits de commande et aux circuits associés, en cas d'incendie, doivent limiter le risque encouru par les personnes et améliorer la sécurité des applications ferroviaires en général. Cela couvre les câbles gainés et non gainés destinés au matériel roulant ferroviaire dont l'isolant et la gaine sont composés de matériaux réticulés exempts d'halogène. En cas d'incendie, les câbles présentent une propagation de flamme limitée et une émission limitée de gaz toxiques. En outre, ces câbles produisent une quantité limitée de fumée lorsqu'ils se consomment, ce qui limite la perte de visibilité en cas d'incendie et permet de réduire le temps d'évacuation. L'utilisation de matériaux réticulés sans halogène conformes à l'IEC 63010-2:2017, 5.3, est recommandée.

Les câbles et le câblage doivent satisfaire aux exigences de sécurité incendie spécifiées dans les normes ou réglementations applicables.

NOTE 2 Par exemple les EN 45545-2, EN 45545-3 et EN 45545-5.

Une fois le type de câble choisi, la taille de l'âme (si le câble est destiné à l'alimentation électrique) doit être déterminée en fonction du courant de charge et du courant admissible calculés conformément à 4.2.3, ou en fonction des caractéristiques assignées du dispositif de protection conformément à 4.2.4.

Il convient de contrôler les conditions de court-circuit et de surcharge en fonction des caractéristiques assignées du dispositif de protection et de la résistance du câble choisi. Voir exemple à la Figure 1.

Il convient de contrôler les conditions de court-circuit conformément à 4.2.7.

Il convient de contrôler ce cas de court-circuit ou de surcharge selon l'exigence suivante:

La charge en courant normale est inférieure au courant assigné nominal du dispositif de protection, et le courant assigné nominal du dispositif de protection est inférieur ou égale à la capacité de transport de courant (I_{corr} , voir définition en 4.2.3 b)).

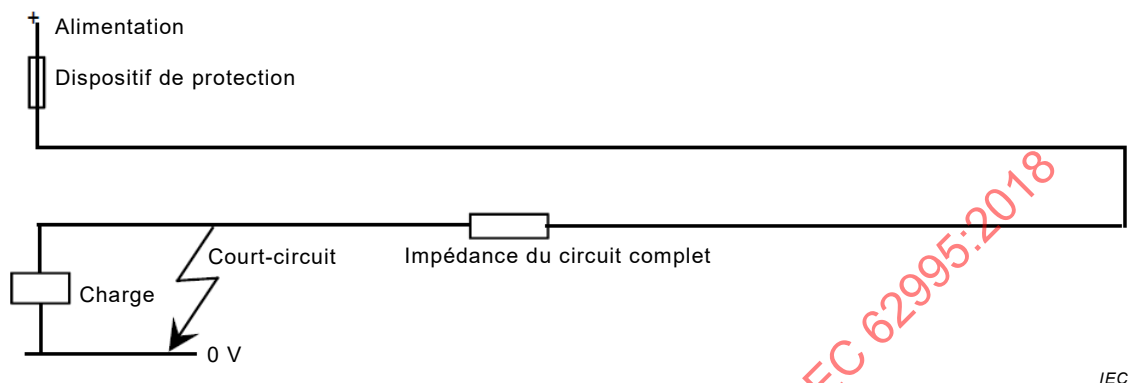


Figure 1 – Exemple de condition de court-circuit où la section du câble a une influence sur le comportement du dispositif de protection

La section des câbles ne doit pas être inférieure aux valeurs spécifiées en 4.5.

Pour des raisons pratiques, il convient de réduire au minimum le nombre de types de câbles différents installés sur tout type de véhicule.

4.2.2 Choix de la taille des câbles de commande

Les câbles de commande, exclusivement destinés à transporter des signaux de commande et de données, doivent posséder une section d'âme minimale, comme spécifié en 4.5. Cela est également valable si le courant de charge permet une section de dimensions inférieures.

La taille des câbles est choisie sur la base générale d'un courant assigné nominal de 5 A/mm² d'âme; il n'est donc pas nécessaire de choisir la taille de l'âme de ces câbles conformément à 4.2.3. Toutefois, sur le plan thermique, ces câbles étant en mesure de fonctionner à une température d'âme de 105 °C, il peut être judicieux d'exploiter cet avantage pour certaines applications. Dans ce cas, il convient de demander l'avis du fabricant de câbles.

4.2.3 Choix de la taille des câbles d'alimentation électrique en fonction du courant de charge permanent

4.2.3 spécifie une méthode de calcul du courant de charge maximal permanent d'une durée de plus de 5 s, pour différentes tailles de câbles, en fonction de leur méthode d'installation et de la température ambiante, afin de pouvoir choisir des câbles permettant d'assurer la durée de vie en service prévue.

Pour un courant de courte durée, jusqu'à 5 s, voir 4.2.7.

Il convient de ne pas combiner les facteurs de correction fournis par les fabricants de câbles avec les facteurs de correction donnés dans le présent document, et ce afin d'éviter des erreurs de calcul ou tout surdimensionnement.

La température d'âme maximale en régime continu pour les types de câbles est donnée (par exemple, 90 °C, 105 °C, 120 °C, 150 °C). Ceci est basé sur une fiabilité et une expérience confirmées sur de nombreuses années, ou dans le cas de nouvelles isolations moins bien définies, par un essai d'acceptation d'endurance au vieillissement thermique de longue durée ayant démontré une durée de vie d'au moins 20 000 h, par exemple à 110 °C, 125 °C, 140 °C, 170 °C respectivement (c'est-à-dire 20 °C au-delà des caractéristiques en régime continu). Les informations de cet essai thermique peuvent être extrapolées avec précaution à la température de l'âme pour donner la durée de vie prévue du câble lorsque celui-ci est chargé en continu. Cette durée de vie prévue peut être utilisée conjointement avec le cycle de service connu du véhicule, ainsi que sa date prévue de retrait du service, afin d'évaluer l'aptitude du câble à remplir sa fonction de façon fiable pendant la durée de vie prévue de l'ensemble du véhicule.

NOTE 1 Les normes en matière de câbles permettent une variété de solutions de types d'isolation. Il est donc important de confirmer l'extrapolation de la durée de vie avec le fabricant de câbles.

NOTE 2 Une durée de vie prévue du câble de 100 000 h est utilisée comme valeur théorique de base pour les câbles conformément à l'EN 50264 (toutes les parties), l'EN 50306 (toutes les parties) et l'EN 50382 (toutes les parties), et leur température d'âme spécifique maximale en régime continu.

4.2.3 traite uniquement de la dégradation thermique du matériau isolant, et il convient de noter que les contraintes mécaniques (courbure, usure, etc.) et d'autres facteurs environnementaux (par exemple, la présence de fluides, de détergents de nettoyage, ou d'une atmosphère agressive) peuvent constituer un facteur limitatif lors de la détermination de la durée de vie prévue des câbles.

La taille des câbles destinés à assurer la distribution de l'alimentation doit être choisie en fonction du courant de charge et de la capacité de transport de courant, conformément à la procédure suivante (c'est-à-dire les trois phases a), b) et c)).

a) Courant de charge

Le courant de charge I_{load} , exprimé en ampères (A), qu'un câble est tenu de transporter pendant des périodes prolongées en service normal, doit être une valeur déterminante pour le dimensionnement du câble.

Lorsque le ou les circuits alimentés par le câble fonctionnent en régime continu ou en régime cyclique permanent, la valeur de I_{load} doit être calculée selon la formule suivante:

$$I_{load} = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int i^2 dt}$$

où

t_1 est la durée d'un cycle de service type en service, exprimée en minutes (min);

i est la valeur instantanée du courant, éventuelle surcharge incluse, exprimée en ampères (A).

NOTE 3 Pour un régime continu en courant continu, la formule ci-dessus a la forme simple $I_{load} = i$.

Lorsque le fonctionnement n'est pas en régime continu ou en régime cyclique permanent, la valeur de I_{load} doit être calculée comme indiqué à l'Annexe A.

b) Capacité de transport de courant

Une autre valeur essentielle, qui doit être prise en compte pour déterminer la taille d'un câble, est la capacité de transport de courant admissible permanente I_{cable} , exprimée en ampères (A), pour un câble à un conducteur ou un conducteur dans un câble à plusieurs conducteurs utilisé à l'air libre. Une valeur donnée de I_{cable} est valable pour une température ambiante de référence donnée T_{ref} et pour une température d'âme maximale en service donnée, $T_{c(max)}$.

Les valeurs de I_{cable} se trouvant dans l'intervalle des valeurs de référence T_{ref} et $T_{c(max)}$ doivent être celles fournies par le fabricant de câbles.

Des exemples de valeurs de I_{cable} pour les câbles à un conducteur sont présentés à l'Annexe B.

Pour un câble présentant des températures d'âme maximales autres que $T_{\text{c(max)}} = 90\text{ °C}$, I_{cable} doit être calculé selon l'Annexe C.

La capacité de transport de courant du câble en service I_{corr} , exprimée en ampères (A), doit être calculée à partir de I_{cable} en appliquant des facteurs de correction k_1 , k_2 , k_3 , k_4 , et k_5 , conformément à la formule suivante:

$$I_{\text{corr}} = I_{\text{cable}} \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5$$

où

k_1 est le facteur de correction pour la température ambiante prévue. Sa valeur doit être calculée par application de la formule suivante:

$$k_1 = \sqrt{\frac{T_{\text{c(max)}} - T}{T_{\text{c(max)}} - T_{\text{ref}}}}$$

où

$T_{\text{c(max)}}$ est la température d'âme maximale en service, exprimée en degrés Celsius (°C), permettant au câble d'atteindre sa durée de vie prévue;

T est la valeur estimée de la température ambiante réelle en service, exprimée en degrés Celsius (°C), sur la face externe du faisceau, ou du conduit éventuel. T est une valeur moyenne;

T_{ref} est la température ambiante de référence, exprimée en degrés Celsius (°C), pour laquelle la valeur de I_{cable} est valide.

Le Tableau D.1 donne des exemples de valeurs de k_1 .

k_2 est le facteur de correction pour le type d'installation (conditions de regroupement et d'installation).

Les valeurs de k_2 données dans le Tableau 2 doivent être utilisées. Une interpolation entre le nombre des différents câbles donnés dans le Tableau 2 est permise.

k_3 est le facteur de correction permettant de prendre en considération une durée de vie prévue réduite du câble, calculé selon la formule de l'Article E.2. Dans tous les cas où la durée de vie prévue normalisée du câble doit être utilisée, la valeur de k_3 doit être de 1,0.

k_4 est le facteur de correction permettant de prendre en considération le courant de courte durée, pour le cas où le régime n'est pas continu. Sa valeur est calculée suivant la procédure de l'Annexe A. En cas de régime continu, la valeur de k_4 doit être de 1,0.

k_5 est un facteur de correction pour les câbles à plusieurs conducteurs; le facteur de correction k_5 s'applique à chaque conducteur individuel dans un câble à plusieurs conducteurs. Les valeurs de k_5 sont données dans le Tableau 1. Une interpolation entre le nombre des différents conducteurs chargés donnés dans le Tableau 1 est permise. Lorsque des câbles à un conducteur sont utilisés, la valeur de k_5 doit être de 1,0. Si des câbles à un conducteur et des câbles à plusieurs conducteurs sont installés sur le même chemin de câbles, ouvert ou fermé, selon le facteur de correction k_5 , différentes valeurs de I_{corr} sont obtenues pour les câbles à un conducteur et les câbles à plusieurs conducteurs.

Tableau 1 – Facteur de correction k_5 pour conducteurs individuels dans un câble à plusieurs conducteurs

Nombre de conducteurs chargés	2	3	4	5	7	9	12	19
Facteur de correction k_5	0,91	0,78	0,63	0,59	0,51	0,46	0,41	0,38
NOTE L'interpolation entre le nombres des différents conducteurs chargés peut être négociée avec le fabricant de câbles.								

c) Choix de la taille du câble

La taille du câble doit être choisie de telle sorte que la capacité de transport de courant du câble en service, calculée conformément à b) ci-dessus, soit supérieure ou égale au courant de charge prévu calculé conformément à a), c'est-à-dire:

$$I_{\text{load}} \leq I_{\text{corr}}$$

La section minimale de l'âme doit être conforme aux spécifications données en 4.5.

Par combinaison des formules des points a), b) et c) de 4.2.3, on obtient la formule suivante:

$$I_{\text{cable}} \geq \frac{I_{\text{load}}}{k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5}$$

Cette formule est en fait d'utilisation bien plus facile, car dans les cas où le type du câble et les conditions de charge sont définis, le dernier terme est constant et il est donc facile de définir la taille correcte du câble par I_{cable} dans le tableau des valeurs assignées du courant (voir exemples dans le Tableau B.1).

Pour un exemple de calcul, se reporter à l'Annexe F.

Tableau 2 – Facteur de correction k_2 selon le type d'installation (conditions de regroupement et d'installation)

Nombre de câbles chargés simultanément	Type d'installation							
	Câble à l'air libre Type a)	Câbles sur chemins de câbles en une couche Type b)	Câbles sur chemins de câbles en deux couches 	Câbles sur chemins de câbles en plusieurs couches Type c)	Câbles sur le sol ou sur un mur Type d)	Câbles au plafond ou sous un plancher Type e)	Câbles sous tube, conduit ou chemin de câbles fermé Type f)	Câbles sous tube ou conduit fermé, à isolation thermique Type g)
1 seul câble	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,95	0,95	0,76
2 câbles ensemble	-	0,87	0,87	0,87	0,85	0,81	0,80	0,61
3 câbles ensemble	-	0,83	0,83	0,78	0,79	0,72	0,70	0,53
4 câbles ensemble	-	0,78	0,71	0,71	0,75	0,68	0,65	0,49
8 câbles ensemble	-	0,74	0,59	0,52	0,75	0,62	0,52	0,40
12 câbles ensemble	-	0,73	0,54	0,45	0,75	0,61	0,45	0,34
16 câbles ensemble	-	0,72	0,51	0,41	0,75	0,61	0,41	0,31
20 câbles et plus ensemble	-	0,71	0,47	0,38	0,75	0,61	0,38	0,29

Différents types d'installations existent.

Type a) Un seul câble à l'air libre, la dissipation thermique étant assurée dans l'air ambiant par les dispositions suivantes:

- distance entre le câble et les parois voisines, de tous côtés: au minimum égale au diamètre du câble;
- distance entre le câble et tout autre câble posé à proximité, dans n'importe quelle direction: au minimum égale à la somme de son propre diamètre de câble et des diamètres des câbles adjacents;
- câble reposant sur un chemin de câbles ouvert ou sur un support en échelle avec des perforations, la superficie totale A des perforations sur la Figure 2 étant au minimum égale à 15 % de la surface portante totale en cas de chemin de câbles métallique ou support présentant un bon contact thermique avec la structure du véhicule (sinon au minimum égale à 30 %), sans couvercle.

Type b) Câbles jointifs reposant en une seule couche sur un chemin de câbles ouvert ou sur un support en échelle, avec des perforations, comme pour le type a).

Type c) Comme pour le type b), mais les câbles sont installés en plusieurs couches superposées.

Type f) Câbles installés en faisceaux dans des conduits, des chemins de câbles fermés ou des boîtes sans circulation d'air notable.

Type g) Comme pour le type f), mais pour les conduits fermés, les chemins de câbles fermés ou les boîtes à isolation totalement thermique.

Il convient de calculer le courant circulant dans l'écran (câbles moteur et résistances de freinage, par exemple) comme une âme supplémentaire.

NOTE Les installations de types a), b), c), d), e), f) et g) sont représentées sur la Figure 2.

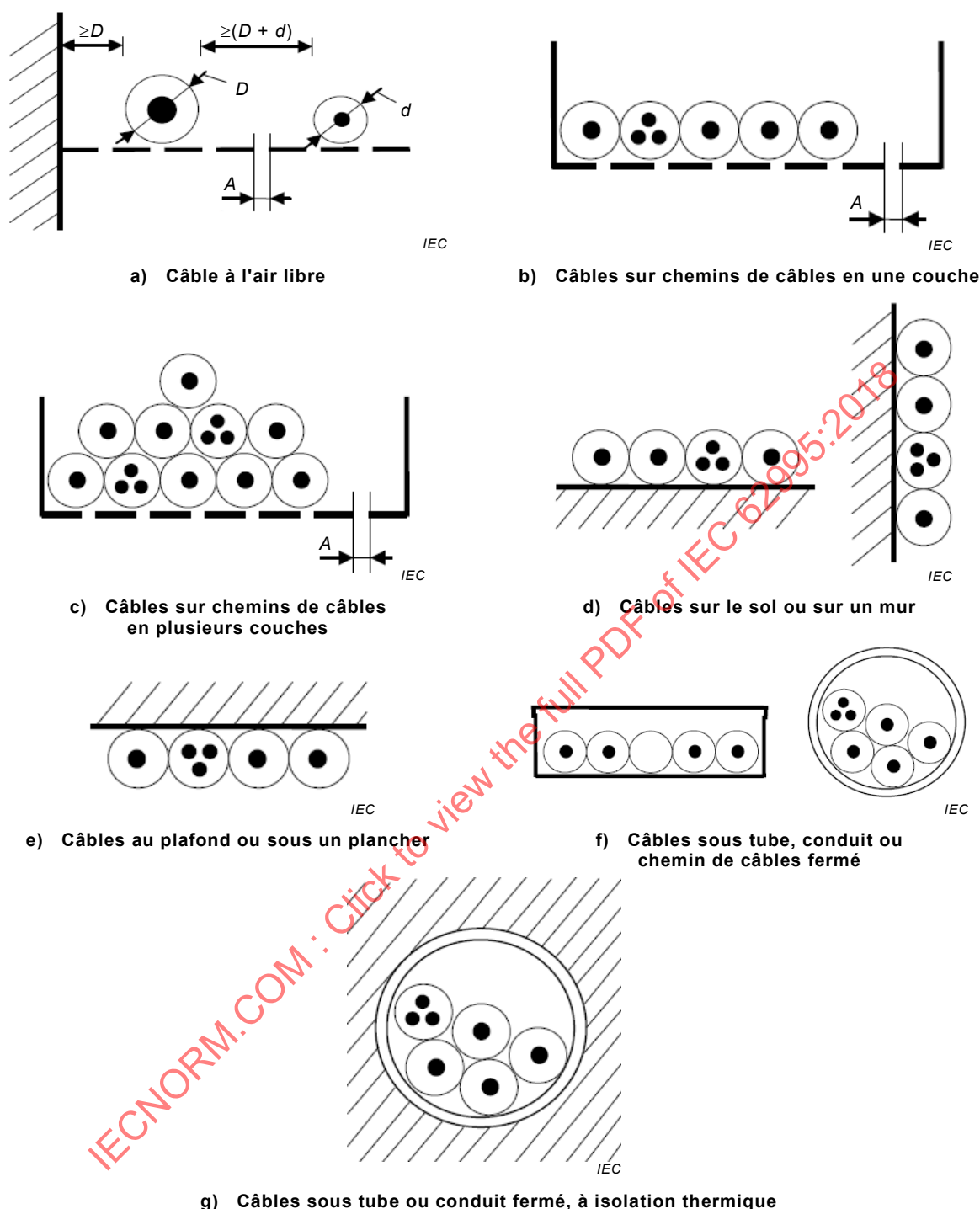


Figure 2 – Conditions de regroupement et d'installation des câbles

4.2.4 Choix de la taille des câbles d'alimentation électrique en fonction des caractéristiques assignées du dispositif de protection

Dans le cas où le courant de charge I_{load} n'est pas exactement défini, les caractéristiques assignées du dispositif de protection peuvent être choisies sur la base du courant de charge maximal prévu. Dès lors, la taille de l'âme doit être choisie en fonction des caractéristiques assignées du dispositif de protection, conformément au Tableau 3. Cette règle s'applique à tous les types de câbles dont la valeur $T_{c(max)}$ est au moins égale à 90 °C, et à une température ambiante maximale de 45 °C.

NOTE Cette méthode est simple, mais elle présente un certain nombre d'inconvénients (possibilité de l'augmentation du poids, de l'encombrement nécessaire et du coût des câbles).

Tableau 3 – Choix de la taille des âmes du câble en fonction des caractéristiques assignées du dispositif de protection

Caractéristiques assignées du dispositif de protection	Section nominale de l'âme mm ²	
	Câbles jusqu'à 4 âmes ou faisceaux de 4 câbles max., sur chemins de câbles ouverts ou à l'air libre	Jusqu'à 4 câbles sous conduit fermé
A		
6	1,0	1,0
10	1,0	1,5
16	1,5	2,5
20	2,5	4,0
25	4,0	6,0

4.2.5 Câbles de moteurs

La taille des câbles des moteurs de traction doit être déterminée conformément à la procédure spécifiée en 4.2.3. Lors du choix des types de câbles (c'est-à-dire classe 6 conformément à l'IEC 60228) pour les câbles en mouvement pendant le service, il convient d'opter pour un câble de souplesse supérieure.

4.2.6 Câbles de liaison de protection

Les câbles destinés aux liaisons de protection doivent être dimensionnés et installés conformément aux règles décrites dans l'IEC 60364-5-54:2011, Article 543. L'IEC 60364-5-54 spécifie les règles générales relatives aux matériels électriques. Les exigences de l'IEC 61991 doivent être satisfaites.

L'IEC 60364-5-54:2011, 543.1.2, donne une formule pour les sections minimales des conducteurs de protection applicable aux temps de coupure inférieurs ou égaux à 5 s.

4.2.7 Câbles utilisés sous courant de courte durée (moins de 5 s)

Pour les câbles chargés avec un courant de courte durée (moins de 5 s), l'aire de la section doit être dimensionnée de sorte que la température finale ne dépasse pas de 20 °C la température de service du conducteur de l'isolation. La durée de vie, dans ce cas, est réduite à au moins 20 000 h de service cumulé.

Pour le dimensionnement des câbles destinés à un courant de courte durée relevant du domaine d'application du présent document, il convient d'utiliser également la formule donnée dans l'IEC 60364-5-54:2011, 543.1.2.

EXEMPLE Conducteurs pour démarreurs de moteurs thermiques.

Les facteurs k pour les conducteurs nus sont donnés dans l'IEC 60364-5-54:2011, Tableau A.54.6.

Les facteurs k et les caractéristiques assignées de court-circuit pour les câbles du matériel roulant sont donnés à l'Annexe F.

Pour tout autre matériau du conducteur, de l'isolation et d'autres parties, ainsi que pour les températures initiales et finales, le facteur k doit être calculé ou donné par le fabricant de câbles.

Pour le calcul du facteur k , voir IEC 60364-5-54:2011, Annexe A.

NOTE Les facteurs k désignés en 4.2.7 et dans les formules de l'IEC 60364-5-54:2011, 543.1.2, et de l'EN 50355 n'ont pas la même signification que le facteur k utilisé dans le présent document.

Pour un exemple de calcul, se reporter à l'Annexe F.

4.3 Mise en faisceau des câbles

Si plusieurs câbles doivent être posés ensemble en faisceau, les facteurs suivants doivent être pris en considération au minimum:

- les exigences thermiques (voir 4.2.3);
- les exigences de CEM (voir 5.2);
- les tensions assignées (voir 4.11);
- les aspects mécaniques, tels que la tenue mécanique des faisceaux, leur masse, l'encombrement disponible et leurs mouvements relatifs, et les forces de tension;
- les points de fixation (voir 4.15).

Si des câbles de sections différentes doivent être regroupés dans un faisceau, il convient de tenir compte des contraintes mécaniques.

4.4 Souplesse des câbles

Si une grande souplesse est exigée, il convient d'utiliser des âmes câblées de classe 6 conformément à l'IEC 60228 ou des câbles conçus spécialement.

Dans tous les autres cas, on doit utiliser des âmes câblées de classe 5 conformément à l'IEC 60228 ou des âmes définies dans des normes pertinentes (voir aussi 4.7).

NOTE 1 Par exemple les âmes définies dans l'EN 50306.

Une grande souplesse est exigée en cas de câblage entre véhicules ou entre véhicule et bogie, c'est-à-dire les emplacements 5, 6 et 7 spécifiés à l'Annexe K et pour des équipements qui peuvent avoir des mouvements de câblage relatifs entre pièces internes (portes, frotteurs, par exemple).

NOTE 2 Les raccordements internes, d'équipements électroniques par exemple, utilisent des fils à une seule âme massive de classe 1, conformément à l'IEC 60228 (pour les connexions enroulées, par exemple), s'il n'existe pas de risque de rupture par fatigue, ou que des précautions ont été prises pour éviter un tel risque.

Lorsqu'une plus grande souplesse de faisceau est nécessaire, il convient de choisir la section nominale de chaque câble en fonction de son courant de charge. Dans de nombreux cas, plus la section d'une âme est faible, plus le câble est souple.

4.5 Section minimale des conducteurs

Les câbles à un conducteur posés séparément ou les câbles posés côte à côte, et qui raccordent des composants électriques à différents endroits à l'intérieur des véhicules du matériel roulant (par exemple, les liaisons entre les points A, B et C comme indiqué à la Figure 3) doivent avoir une section nominale minimale de 1,0 mm².

Des sections minimales plus importantes peuvent être nécessaires pour les raisons suivantes, par exemple:

- la chute de tension,
- le courant de charge, et
- la résistance mécanique.

Il convient de prendre des précautions particulières pour les sections minimales afin d'obtenir la tenue mécanique nécessaire pour le câblage entre véhicules ou entre véhicule et bogie, c'est-à-dire les emplacements 5, 6 et 7 spécifiés à l'Annexe K.

Il est permis d'utiliser des sections plus petites dans les conditions suivantes:

- pour le câblage interne des baies ou ensembles, ou dans les équipements électroniques ou les dispositifs précâblés, si le circuit est protégé contre les surcharges et que la tenue mécanique est assurée (par exemple, à l'intérieur de A ou B ou C, comme indiqué à la Figure 3);
- pour les câbles à plusieurs conducteurs, les câbles en faisceaux, les connexions de bus de données, etc., si la résistance mécanique est assurée et que le courant de charge, dans toutes les situations de service, le permet;
- pour les dispositifs spécifiés et soumis à essai comme un ensemble complet à utiliser sur du matériel roulant.

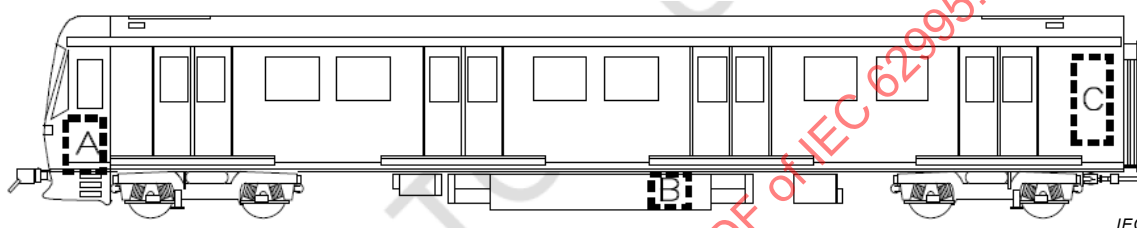


Figure 3 – Emplacements du matériel roulant où s'applique la règle de la section minimale des conducteurs

4.6 Utilisation de la couleur vert/jaune

Les conducteurs d'un système de liaison équipotentielle de protection, isolés ou nus, doivent pouvoir être identifiés rapidement par leur forme, emplacement, marquage ou couleur. En cas d'identification par couleur, la combinaison bicolore vert/jaune doit être utilisée.

Si l'utilisation d'un conducteur pour la liaison équipotentielle de protection est évidente (sur les bogies, par exemple), il est admis d'identifier la liaison équipotentielle de protection autrement que par la couleur.

Le conducteur vert/jaune d'un câble à plusieurs conducteurs, le cas échéant, doit être utilisé exclusivement pour la liaison équipotentielle de protection.

Les conducteurs de câbles à plusieurs conducteurs qui ne sont pas utilisés pour la liaison équipotentielle de protection peuvent être de couleur verte ou jaune.

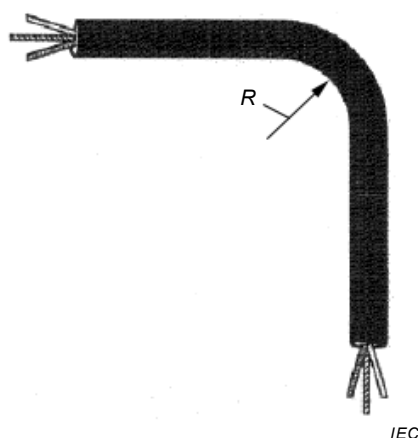
4.7 Rayons de courbure et autres exigences mécaniques

Les câbles doivent être installés de telle façon que les rayons de courbure minimaux des câbles en application statique et des câbles appelés à se déformer en conditions de service ne soient pas inférieurs aux valeurs indiquées dans les informations relatives à chaque produit, ou dans la norme relative au câble.

Dans un faisceau constitué de câbles de différents diamètres par exemple, les rayons de courbure minimaux pour le faisceau doivent correspondre à ceux du câble présentant les rayons de courbure les plus importants.

Des exemples relatifs aux rayons de courbure sont donnés dans le Tableau 4.

La définition du rayon de courbure interne est représentée à la Figure 4.



Légende

R rayon de courbure interne

Figure 4 – Définition du rayon de courbure interne

Tableau 4 – Rayons de courbures internes minimaux R pour les applications statiques

Diamètre de câble mm	≤ 12	> 12
Câbles non blindés	$4D$	$5D$
Câbles blindés	$10D$	$10D$

Les rayons de courbure minimaux donnés par le fabricant de câbles doivent prévaloir.

NOTE 1 D est le diamètre extérieur du câble.

NOTE 2 Les câbles blindés peuvent être protégés par un blindage intérieur ou extérieur. Le blindage intérieur est pressé sous la gaine extérieure et augmente les rayons de courbures à cause de la pression mécanique et des frottements au dessus et en dessous du blindage; le blindage extérieur est situé à l'extérieur du câble et glisse sur la gaine sans être écrasé, avec moins de pression et moins de surface de frottement ce qui engendre un meilleur rayon de courbure et une meilleure flexibilité.

NOTE 3 Les valeurs sont basées sur l'EN 50355:2013, Tableau 16.

Il convient de choisir avec soin le matériau constitutif du câble, en fonction de son aptitude à résister aux effets des mouvements dynamiques. Dans la mesure du possible, il convient d'éviter tout effort excessif sur les dispositifs d'installation (par exemple, colliers de maintien et points de raccordement en bout de câble) en employant par exemple des dispositifs de fixation supplémentaires ou des câbles plus souples.

En cas de fortes vibrations (par exemple, dans le compartiment du moteur diesel ou les emplacements 6 et 7 spécifiés à l'Annexe K), il convient de ne pas utiliser de câbles à paroi mince dans un conduit flexible non métallique en l'absence de protections supplémentaires assurées par des manchons, des flexibles tressés, etc. Il convient que le manchon de protection contre l'abrasion permette de protéger les câbles à paroi fine non seulement pendant l'installation à l'intérieur du conduit mais aussi tout au long de la vie du véhicule.

NOTE 1 Les câbles à paroi mince sont décrits dans l'EN 50306-2, et les contraintes mécaniques sont décrites dans l'EN 50355.

NOTE 2 Le rayon de courbure peut influencer les caractéristiques de compatibilité électromagnétique des câbles blindés.

Tous les éléments de fixation mécanique du câblage ne doivent comporter aucune arête vive pour éviter tout risque d'endommagement des câbles pendant l'installation en cas de pénétration de l'isolant ou sous l'action de frottements et vibrations en conditions de service.

Les arêtes vives susceptibles d'endommager l'isolation du câble doivent être recouvertes de protège-arêtes.

Voir exemple à la Figure 5. Les éléments de fixation mécanique du câblage peuvent être façonnés en fonction de la courbure de l'installation de câblage. Il convient d'ajouter des fixations à proximité de l'arête.

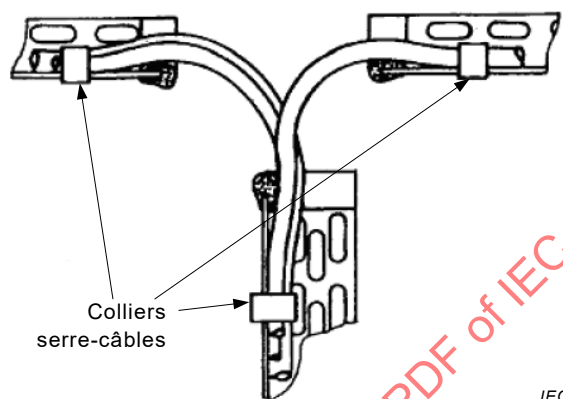


Figure 5 – Exemples de protection mécanique du câblage

Si de légers mouvements relatifs sont prévus, il convient alors de concevoir une installation de câblage qui résiste à tous les mouvements possibles. Dans ce cas, il convient de réduire au minimum ou même d'éviter les forces exercées sur les terminaisons et les frottements causés par ces mouvements au moyen d'une fixation adéquate.

De plus, si des mouvements relatifs importants sont prévus, il convient que les extrémités de l'installation de câblage soient verticales ou présentent un angle minimal par rapport à la verticale, réduisant ainsi l'effet de courbure dû à la gravité.

Il convient d'envisager une protection adéquate contre l'impact des objets (pierres de ballast, par exemple) à des emplacements sous la caisse du véhicule (par exemple, emplacements 4, 5, 6 et 7 spécifiés à l'Annexe K).

4.8 Reprise de connexion en bout de câble

Il convient que les câbles à un et plusieurs conducteurs, dont les conducteurs possèdent une section nominale inférieure ou égale à 16 mm², installés à bord du matériel roulant, offrent en réserve une surlongueur suffisante à chaque extrémité pour permettre au moins trois reprises de connexions en bout de câble.

NOTE Lorsque les câbles sont munis d'une fiche à leurs extrémités, il s'avère impossible de produire une surlongueur suffisante.

Pour les exigences concernant la rénovation et la réparation, voir 4.12.

4.9 Jeux de barres

Il convient que les jeux de barres soient en cuivre, en laiton ou en aluminium. Toutes les précautions doivent être prises pour éviter une augmentation dans le temps des valeurs de résistance de contact au niveau des surfaces de contact, due notamment aux effets de la corrosion ou au fluage du matériau.

La corrosion due à la différence de potentiel électrochimique entre les barres, les bornes et/ou les vis doit être prise en compte. Pour des exemples, se reporter à l'Annexe J.

Le choix du type et des dimensions des jeux de barres doit revenir au constructeur du véhicule. La procédure de dimensionnement doit prendre en considération l'influence de la température ambiante.

4.10 Raccordements aux jeux de barres

Les raccordements électriques entre les jeux de barres et les équipements, ou entre différentes sections de barres, ou entre différents dispositifs, doivent être réalisés par des liaisons souples si des mouvements relatifs peuvent se produire.

Si des raccordements par serrage mécanique sont utilisés, ils doivent être munis d'un dispositif de blocage adapté qui maintiendra l'effort mécanique qu'ils exercent, de manière sensiblement constante, pendant toute la durée de vie de l'équipement, y compris en cas de fluage du matériau.

4.11 Séparation des câbles présentant des niveaux de tension différents et pour des raisons de sécurité

Les mesures prises pour protéger le personnel de tout danger électrique doivent être conformes à l'IEC 61991.

L'IEC 61991 précise la mise en œuvre de dispositions telles que les liaisons équipotentielles à des fins de protection, l'isolation, le contrôle d'accès, la déconnexion automatique de l'alimentation dans les situations dangereuses, la mise à la masse du véhicule, les étiquettes d'avertissement, en fonction des différents niveaux de tension et des possibilités de contact direct ou indirect.

Etant donné que l'IEC 61991 ne couvre pas les méthodes de câblage, cet aspect est abordé ci-dessous.

Lors du regroupement de câbles, on doit séparer autant que possible les câbles porteurs de niveaux de tension différents.

Cette séparation doit être obtenue par la distance entre eux, ou par l'interposition de barrières isolantes ou de barrières métalliques mises à la masse (voir Figure 6 et Figure 7). En raison d'une bonne protection au sein d'une enveloppe électrique, les distances de séparation peuvent ici être choisies selon les exigences pour l'isolation supplémentaire (voir IEC 62497-1).

Les barrières de séparation, les écrans ou les manchons doivent posséder une résistance mécanique, une résistance au feu et des propriétés d'isolation identiques à l'isolant des câbles présentant la catégorie la plus élevée.

Si les câbles (situés sur le toit, par exemple) entrent en contact avec une ligne aérienne cassée, il convient que la tension dangereuse entraîne la détection d'un court-circuit dans la sous-station en bord de voie avant de mettre en danger les personnes, voir IEC 61991.

La séparation des câbles peut être exigée pour des raisons de sécurité, notamment concernant:

- l'aptitude au roulement en cas d'incendie, et
- la conduite générale de l'alimentation (par exemple, 800 A 1 kV/1,5 kV/3 kV), qui peut déclencher un incendie en cas de défaillance de l'isolation.

NOTE 1 Les exigences en matière de sécurité pour la séparation des câbles relatives à l'aptitude au roulement en cas d'incendie sont données dans l'EN 50553.

Les distances indiquées dans le Tableau 6 peuvent nécessiter d'être augmentées pour des raisons de compatibilité électromagnétique. Voir 5.3.

La séparation est une mesure de sécurité nécessaire destinée, en cas d'accident, d'incendie ou de câble usé, entre autres, à limiter la probabilité d'injection de tensions/puissances plus élevées dans des câbles destinés à des tensions/puissances inférieures.

Lorsque la séparation des câbles ne peut être réalisée en distance (par manque de place, par exemple), celle-ci doit être assurée par le biais d'une cloison ou d'une isolation (voir Figure 7). Les exceptions doivent être limitées aux cas où aucune solution n'est facilement envisageable (proximité de borniers, intersections, etc.).

Dans toutes les catégories, il convient de traiter si possible chacun des câbles de retour de la même manière que les câbles d'alimentation auxquels ils sont associés.

Les parties non protégées des circuits doivent être aussi courtes que possible. Pour ce faire, on doit s'assurer que les dispositifs de protection et les transducteurs des dispositifs de protection sont installés le plus près possible de la source d'alimentation.

Si des câbles haute tension (circuits dans les limites de la classe de tension IV selon l'IEC 61991) doivent être placés dans un compartiment voyageurs ou une cabine de conduite, ils doivent être installés dans des conduits métalliques fermés mis à la masse ou derrière des enveloppes métalliques mises à la masse.

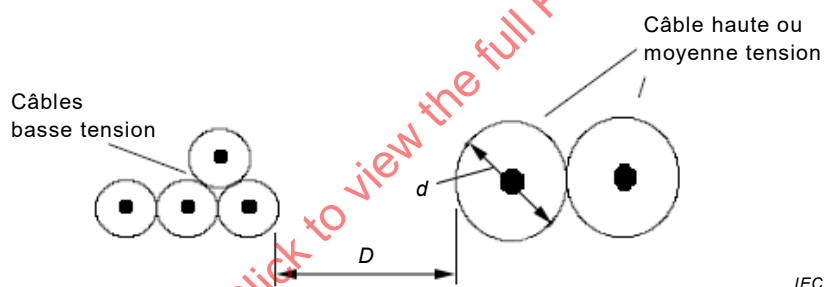
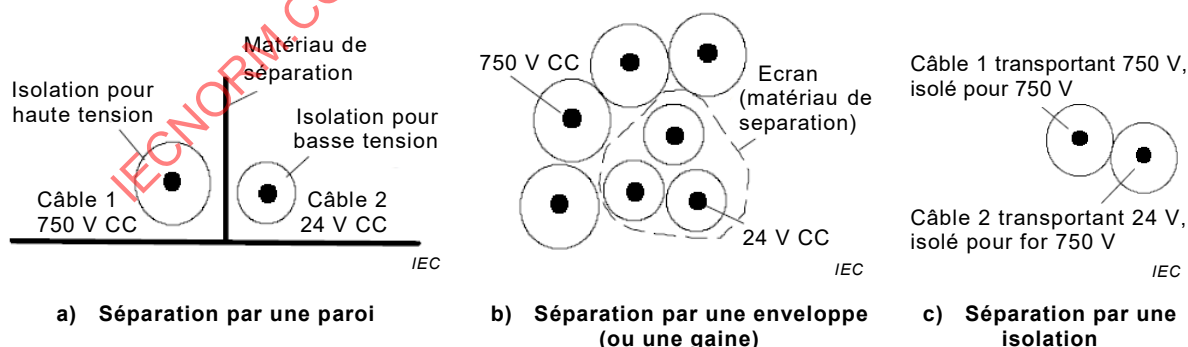


Figure 6 – Séparation des câbles selon la distance exigée: $D > 2d$ et $D > 0,1$ m



NOTE Les schémas utilisés sont des exemples uniquement. Le matériau de séparation convient à une isolation pour 750 V. Normalement, les câbles pour 750 V et les câbles pour 24 V ne devraient pas être posés à proximité les uns des autres pour des raisons de compatibilité électromagnétique.

Figure 7 – Exemples de séparation des câbles par des barrières ou une isolation

Pour les exigences de câblage supplémentaires visant à éviter les dangers d'incendie, les normes applicables doivent s'appliquer.

NOTE 2 Par exemple l'EN 45545-5.

4.12 Dispositions pour la rénovation et l'entretien, y compris l'inspection et la réparation

Les modifications apportées aux équipements électriques ne doivent pas affecter négativement la spécification de sécurité incendie d'origine, conformément aux normes ou réglementations applicables.

NOTE Par exemple l'EN 45545-3:2013, 6.2.

Lors de la conception d'un nouveau véhicule, il convient de prendre en considération le fait que le véhicule est susceptible de subir en moyenne une fois au cours de sa durée de vie une rénovation importante (reprise de conception ou modifications majeures) de même qu'il risque d'être réparé à maintes reprises.

La conception doit prendre en considération les dispositions suivantes.

- Il convient que les câbles, les conduits de câbles, les équipements, les bornes, etc., soient accessibles dans toute la mesure du possible. Ceci est par ailleurs nécessaire pour l'inspection, la maintenance et la rénovation.
- Il convient de prendre des dispositions dans toute la mesure du possible pour que les câbles puissent être remplacés et réparés (dispositions permettant de tirer de nouveaux câbles dans les conduits, etc., et de s'assurer que l'espace disponible est suffisant pour la pose de bornes). En ce qui concerne la longueur de câble de réserve nécessaire à des fins de reprise de connexion en bout de câble, voir 4.8.
- Lorsque le remplacement de câbles s'avère difficile, il convient de fournir des câbles de réserve. Voir également 4.14. Ces mêmes dispositions sont également nécessaires pour permettre de réaliser des réparations et des modifications durant la mise en service.

Afin de faciliter les réagencements de câbles installés dans des conduits, il convient que le rayon de courbure et la section des conduits soient les plus grands possible. Pour accroître l'accessibilité, il est permis d'utiliser des tubes discontinus (percés de boutonnières, ou interrompus par endroits).

La mise en faisceau des câbles dans des conduits peut présenter des avantages et des inconvénients. Elle peut faciliter l'utilisation de l'espace de réserve pour un câblage supplémentaire ultérieur, mais dans les cas où le câblage existant est modifié, il peut être nécessaire d'extraire ou de changer le faisceau complet.

Il convient que les câbles soumis à des mouvements de pliage et de flexion en conditions de service soient facilement accessibles, c'est-à-dire les emplacements 5, 6 et 7 spécifiés à l'Annexe K et pour des équipements qui peuvent avoir des mouvements de câblage relatifs entre pièces internes (portes, frotteurs, par exemple). Il convient également que les transitions entre la partie souple et les parties fixes du câblage soient aussi lisses que possible.

Pour les câbles posés en conduits ou sous tubes, le taux de remplissage ne doit pas dépasser 60 % en comptant le nombre réel de câbles (réserves comprises) et le nombre maximal possible de câbles pouvant être installés dans un tube ou un conduit, de façon à permettre le remplacement ou la rénovation.

Pour les câbles posés dans des chemins ou des conduits, le taux de remplissage ne doit pas dépasser 80 % en comptant le nombre réel de câbles (réserves comprises) et le nombre maximal possible de câbles pouvant être installés dans un chemin ou un conduit, de façon à permettre le remplacement ou la rénovation. Se reporter également au 4.3.

Si les câbles concernés sont fixés (c'est-à-dire qu'ils ne sont pas déplacés, pliés ou soumis à des flexions en service), des bornes isolées allant jusqu'à 6 mm² de section peuvent être utilisés en rénovation et réparation. Pour les exigences de raccordement des conducteurs, voir 4.17.

Il convient que les bornes ne soient pas utilisées pour la conception d'origine et la fabrication de nouveaux véhicules.

Il convient de choisir les points de déconnexion de manière à réduire au minimum le besoin de démontage du câblage en raison de travaux de réparation ou de maintenance programmée. Il convient de pouvoir remplacer facilement les câbles présentant une courte durée de vie prévue (câbles flexibles entre véhicules, par exemple) en nécessitant un minimum de besoin de démontage.

En cas d'utilisation de conducteurs et de câbles de réserve, il convient d'effectuer un essai d'isolation avant la mise en service.

Aux emplacements 4, 5, 6 et 7 spécifiés à l'Annexe K, il convient de prendre en considération la résistance aux produits de nettoyage.

4.13 Mesures anti-incendie, pose des câbles et comportement du câblage en cas d'incendie

Les câbles ne doivent pas être installés au contact ou à proximité de surfaces chaudes sauf si les câbles ont été conçus pour de telles conditions.

Les matériaux des câbles et du câblage (tels que fixations, manchons thermorétractables, conduits) doivent être examinés du point de vue de la propagation du feu, de la résistance au feu et de la réaction au feu (teneur en fumée, par exemple).

Les câbles doivent satisfaire à l'essai de comportement au feu conformément aux conditions définies dans l'IEC 60332-1-2 et avec un retardateur de flamme approprié conformément à l'IEC 60332-3-24 (diamètre de câble, $d > 12$ mm) et à l'IEC 60332-3-25 ($d \leq 12$ mm); les faisceaux de câbles de plus petit diamètre doivent quant à eux être soumis à essai conformément à l'IEC 60332-3-25.

Pour les câbles de diamètre inférieur à 6 mm, il est permis de réaliser l'essai sur des faisceaux espacés de la moitié du diamètre des faisceaux. Le nombre de câbles dans chaque faisceau doit être comme suit:

- $4,3 \text{ mm} < d < 6,0 \text{ mm}$, 12 câbles par faisceau;
- $3,3 \text{ mm} < d < 4,3 \text{ mm}$, 19 câbles par faisceau;
- $d \leq 3,3 \text{ mm}$, 37 câbles par faisceau.

La propagation du feu maximale est limitée à 1,5 m.

Les difficultés rencontrées lors d'une évacuation imposent d'avoir une transmittance lumineuse d'au minimum 70 % conformément à l'IEC 61034-2, et l'indice de toxicité pondéré pour les câbles ITC mesuré conformément à l'IEC 60695-7-2:2011, 6.9, doit être de 6 maximum. Il est recommandé d'utiliser des matériaux non métalliques sans halogène conformément à l'IEC 62821-1:2015, Annexe B.

NOTE 1 Pour un niveau de risque HL3 en intérieur, se référer à l'EN 45545-2.

Les exigences relatives à l'aptitude au roulement en cas d'incendie doivent être prises en considération.

NOTE 2 Pour l'aptitude au roulement en cas d'incendie, se référer à l'EN 50553.

Pour certaines fonctions critiques (commande de l'éclairage de secours, commande des portes, serrage du frein d'urgence, commande des extincteurs, etc.), il peut s'avérer nécessaire d'utiliser des câbles, éléments de support, protection et raccordement de construction spéciale qui conservent leur intégrité pendant une durée définie en cas d'incendie, conformément à l'IEC 60331-1 et à l'IEC 60331-2.

Un cheminement distinct d'un tel câblage peut être exigé.

NOTE 3 Il existe la possibilité que les propriétés de ces câbles soient contraires à certaines autres exigences (toxicité, teneur en halogènes, par exemple).

4.14 Disposition de réserves

4.14.1 Disposition de réserves pour le câblage de commande

Pour les câbles d'interface reliant des composants électriques situés à différents endroits dans les véhicules du matériel roulant, il doit être prévu 10 % de conducteurs de réserve, ou au moins 2 conducteurs de réserve dans chaque câble à plusieurs conducteurs ou dans chaque faisceau de câbles comportant plus de 10 conducteurs. Il convient également de prévoir un nombre adéquat de bornes ou de contacts de réserve dans les connecteurs (contacts mâles et femelles dans les fiches, contacts de coupleur, etc.) ou de prévoir suffisamment de place pour des bornes ou connecteurs supplémentaires.

Ceci n'est pas applicable aux câbles remplissant des fonctions particulières (par exemple, bouton-poussoir d'ouverture de porte, câblage de commande d'éclairage, câbles de bus de données ou de communication blindés).

Le nombre de conducteurs de réserve doit être celui fourni au moment de la fin de l'assemblage du premier véhicule.

Ce nombre de conducteurs de réserve nécessaires dépend de la constitution des câbles et connecteurs, ainsi que de la méthode de pose des câbles. Si les câbles sont inaccessibles (lorsqu'ils sont installés sous tubes, etc.), il convient d'augmenter le nombre de conducteurs de réserve.

Les extrémités non connectées des conducteurs de réserve doivent être enroulées et fixées dans un endroit accessible. Les conducteurs de réserve connectés doivent être soumis à essai.

NOTE D'autres traitements des extrémités des conducteurs de réserve sont convenus, pour des raisons de sécurité ou de compatibilité électromagnétique. Ceux-ci comprennent l'isolation des extrémités ou leur mise à la masse.

4.14.2 Disposition de réserves pour le câblage d'alimentation auxiliaire

Dans les installations où des dispositions de réserves sont exigées d'un point de vue fonctionnel (armoires ou compartiments électriques, etc.), il convient de prévoir au moins 10 % de bornes de raccordement de réserve ou d'espace disponible pour l'ajout de bornes de raccordement supplémentaires au moment de la fin de l'assemblage du premier véhicule.

4.15 Exigences relatives aux fixations

Les câbles autres que ceux cheminant dans des tubes ou conduits doivent être maintenus en place au moyen de fixations mécaniques.

Sauf si d'autres valeurs ont été spécifiées par le fabricant de câbles et/ou l'utilisateur, il convient de fixer les câbles en respectant les intervalles maximaux suivants:

- a) câbles d'alimentation, câbles à plusieurs conducteurs et faisceaux de câbles:
 - 300 mm lorsque les câbles courent horizontalement, et également entre un point de raccordement et la première fixation;
 - 500 mm lorsque les câbles courent verticalement, et également entre un point de raccordement et la première fixation.
- b) câbles à un conducteur pour les faibles puissances, posés isolément:

- 150 mm entre fixations lorsque les câbles courent horizontalement ou verticalement, et également entre un point de raccordement et la première fixation.

NOTE 1 Généralement, les exceptions à ces exigences s'appliquent aux câbles à gaine épaisse et aux jarretières entre différentes parties présentant des mouvements relatifs importants.

Les fixations doivent être choisies en prenant en considération la section des conducteurs ou faisceaux de câbles, et les conditions de service et d'environnement prévues au cours de la durée de vie en service du véhicule, comme les chocs et les vibrations et la température des câbles.

NOTE 2 Pendant un court-circuit, des forces électromécaniques plus élevées peuvent être générées entre les câbles, ce qui a un impact sur les systèmes de fixation des câbles.

Si les câbles sont revêtus d'un manchon, métallique ou non, le manchon doit être muni de fixations respectant les exigences spécifiées par le fabricant du manchon.

Le choix des colliers serre-câbles doit revenir au constructeur du véhicule.

Les colliers serre-câbles doivent être choisis conformément aux règles suivantes:

- les colliers serre-câbles ne doivent ni endommager le câble, ni affecter ses caractéristiques;
- les colliers serre-câbles doivent résister aux conditions auxquelles seront soumis les câbles installés (exposition au gazole et aux rayonnements UV, par exemple);
- la tenue au feu des colliers serre-câbles doit être prise en considération.

NOTE 3 La tenue au feu des colliers serre-câbles peut être conforme à l'EN 45545 (toutes les parties).

Lorsqu'un autre lieu de montage est disponible, il convient de ne pas monter les fixations de câbles sur des pièces appelées à être déplacées ou remplacées régulièrement pendant l'entretien. Les fixations de câbles doivent, par ailleurs, être indépendantes des fixations des équipements mécaniques.

Lorsque les câbles sont exposés à des contraintes de flexion ou de pliage en conditions de service, des fixations de câbles doivent être prévues à proximité des terminaisons pour éviter un mouvement de flexion au point où l'âme du conducteur sort de l'isolation et où le conducteur sort d'une gaine (par exemple, les emplacements 5, 6 et 7 spécifiés à l'Annexe K et pour des équipements qui peuvent avoir des mouvements de câblage relatifs entre pièces internes – portes, frotteurs, par exemple).

Pour des conseils plus approfondis, voir 4.13.

4.16 Distances d'isolement dans l'air et lignes de fuite

Les distances d'isolement dans l'air et les lignes de fuite des éléments non isolés des installations électriques, notamment les cosses de câbles et les jeux de barres, doivent être conformes à l'IEC 62497-1.

4.17 Exigences relatives aux terminaisons électriques

4.17.1 Généralités

Pour les connecteurs, voir IEC 62847.

Tous les conducteurs, à l'exception de ceux prévus en réserve, mais incluant des conducteurs non chargés prévus pour la mise à la masse, doivent être raccordés à chaque extrémité. Chaque point de raccordement doit comprendre une préparation particulière de l'extrémité du câble et doit disposer d'une pièce d'adaptation du côté borne ou équipement, selon la technologie de raccordement utilisée. Les caractéristiques assignées de courant et de

température de chaque côté du point de raccordement ne doivent pas être inférieures à la charge maximale attendue en service.

Le point de raccordement doit établir une connexion permanente et fiable entre les conducteurs du câble et les éléments de la borne ou de l'équipement destinés au passage du courant.

Il convient de prendre en considération au minimum les conditions suivantes:

- le comportement au feu;
- la résistance thermique de l'ensemble des éléments impliqués;
- le comportement mécanique (en tenant compte du fluage des matériaux et en évitant la déformation plastique, de la résistance à la fatigue et à la corrosion, de la résistance à la déconnexion intempestive);
- le comportement électrique (tenue en tension, densité de courant, chute de tension, effets thermiques et mécaniques induits par des conditions de court-circuit);
- les mesures de sécurité prises contre tout contact accidentel avec des éléments sous tension;
- l'aptitude à satisfaire aux conditions d'environnement particulières aux applications ferroviaires (chocs et vibrations, température, corrosion, humidité, poussière, etc.);
- l'utilisation des outils appropriés;
- la différence de potentiel électrochimique de la combinaison des matériaux.

S'il y a lieu, il convient au moins de soumettre les terminaisons aux essais mécaniques suivants:

- chocs et vibrations;
- résistance à la traction;
- contrôle de couple;
- forces d'insertion et de traction;
- forces de retenue;

et il convient au moins de les soumettre aux essais électriques suivants:

- résistance de contact;
- chute de tension;
- tension de tenue;
- échauffement;
- charge de courant.

4.17.2 Terminaisons électriques aux extrémités de câbles

Le Tableau G.1 donne des exemples de méthodes pour le raccordement de câbles à l'extrémité du conducteur, ainsi que leurs principaux aspects mécaniques et électriques.

4.17.3 Terminaisons électriques du côté de la borne ou de l'équipement

Le choix des terminaisons utilisées du côté de la borne ou de l'équipement doit revenir au constructeur du véhicule ou au fabricant de l'enveloppe.

Le raccordement sans soudure des terminaisons utilisées du côté de la borne ou de l'équipement doit être conforme à l'IEC 60352 (toutes les parties).

Les Tableaux G.2 à G.5 donnent des exemples de méthodes de raccordement côté borne ou équipement, ainsi que leurs principaux aspects mécaniques et électriques.

Les dispositions suivantes doivent être prises pour éviter tout échauffement aux points de raccordement:

- excepté les éléments conducteurs supplémentaires pour éviter toute corrosion galvanique, par exemple dans une connexion de mise à la terre de protection, les rondelles ou éléments intermédiaires ne doivent pas être interposés entre les éléments conducteurs;
- excepté les constructions spécifiques calculées et soumises à essai comme composants conducteurs, les vis et goujons ne doivent pas être utilisés comme conducteurs;
- les matériaux des surfaces métalliques des deux pièces doivent être appariés, et les surfaces doivent être propres et correctement préparées;
- lorsque des cosses de câbles sont reliées aux jeux de barres, aux goujons conducteurs ou aux goujons de mise à la terre de protection, leur construction doit permettre le passage du courant:
 - avec au maximum 2 cosses d'extrémité à chaque raccordement par serrage mécanique pour l'alimentation,
 - avec au maximum 3 cosses d'extrémité à chaque raccordement par serrage mécanique pour la mise à la terre de protection, et
 - avec au maximum 3 cosses d'extrémité à chaque raccordement par serrage mécanique pour le câblage de commande.
- lorsque des cosses de câbles sont reliées aux isolateurs ou goujons d'extrémité isolés, leur construction doit permettre le passage du courant:
 - avec au maximum 3 cosses d'extrémité à chaque raccordement par serrage mécanique pour l'alimentation,
 - avec au maximum 3 cosses d'extrémité à chaque raccordement par serrage mécanique pour la mise à la terre de protection, et
 - avec au maximum 4 cosses d'extrémité à chaque raccordement par serrage mécanique pour le câblage de commande.

Il convient de fournir des moyens permettant d'éviter la corrosion galvanique entre les composants conducteurs si la combinaison de matériaux entraîne une différence de potentiel électrochimique supérieure à 300 mV. Pour des exemples, se reporter à l'Annexe J.

La qualité d'un contact électrique dépend:

- de la texture de la surface et des matériaux des éléments conducteurs impliqués (il convient que la texture de la surface soit supérieure à 3,2 μm selon la définition de l'ISO 1302);
- des dimensions de la surface de contact par rapport au courant, c'est-à-dire la densité de courant (voir ci-après),
- de la pression de serrage (voir ci-après),
- du couple électro-galvanique entre les deux matériaux qui entrent en contact.

Les exigences concernant les facteurs influençant le risque incendie doivent être prises en considération.

NOTE 1 Les exigences générales concernant les facteurs influençant le risque incendie peuvent être conformes à l'EN 45545 (toutes les parties), en particulier aux exigences supplémentaires de l'EN 45545-5:2013, Article 5.

La densité de courant dans un contact en cuivre ne doit pas dépasser 1,4 A/mm², en considérant le courant de charge I_{load} pour ce calcul (voir 4.2.3). Pour l'aluminium, cette valeur maximale doit être de 0,8 A/mm².

Pour calculer la surface de contact utile, se reporter à la procédure ci-après et à la Figure 8.

NOTE 2 Cette procédure s'applique également lorsque deux jeux de barres sont interconnectés (la pression sur les deux barres est appliquée au moyen d'un raccordement par serrage mécanique).

La surface de contact utile A en millimètres carrés (mm²) doit correspondre à la superficie d'un carré dont les côtés sont de valeur égale au diamètre extérieur de la rondelle de butée, D , en millimètres (mm), moins la surface du cercle de diamètre d en millimètres carrés (mm²), où d est le diamètre intérieur de la rondelle (voir Figure 8). La valeur de A doit être calculée à l'aide de la formule suivante:

$$A = D^2 - \frac{\pi \times d^2}{4}$$

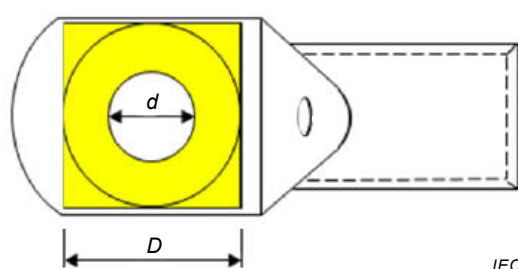


Figure 8 – Dimensions pour le calcul de la surface utile d'un contact (exemple pour une cosse de câble)

La surface de contact utile doit être dans les limites géométriques de la surface de contact de l'élément conducteur. Si elle dépasse les limites géométriques externes, la surface de contact utile est alors égale à la surface de contact de l'élément conducteur.

4.18 Utilisation de manchons thermorétractables

Les manchons thermorétractables peuvent être employés à bord du matériel ferroviaire dans deux buts:

- à des fins d'identification (par leur couleur ou leur marquage propre ou en maintenant en place des marquages supplémentaires);
- à des fins de protection électrique et mécanique (pour empêcher la pénétration d'eau ou maintenir constamment une distance d'isolement dans l'air ou une ligne de fuite particulière, par exemple).

Il convient de n'utiliser ces manchons qu'en complément d'une isolation adéquate.

Si des manchons thermorétractables sont utilisés pour l'isolation, il convient de les choisir avec attention afin d'assurer:

- des performances mécaniques et électriques comparables à celles de l'isolation qu'elle remplace, et
- une épaisseur de la gaine réalisée comparable à celle de l'isolation des conducteurs et câbles qu'elle remplace.

Il convient d'installer les manchons thermorétractables conformément aux instructions du fabricant ou fournisseur. Il convient en particulier de noter que lorsque le retrait est limité, certaines propriétés peuvent en être affectées (épaisseur de gaine, performances mécaniques et électriques, par exemple).

Pour recouvrir des pièces non isolées à l'aide de manchons, il convient de n'employer que de courtes longueurs. Sinon, le câble pourrait perdre de sa souplesse, son comportement au feu pourrait en être affecté, de même que ses conditions de refroidissement.

Au moment d'utiliser la chaleur pour contracter les manchons, il convient de ne pas dépasser la température de courte durée (température de court-circuit) maximale admise pour les matériaux du câble.

S'il est nécessaire de limiter l'emploi des manchons thermorétractables (en raison du comportement au feu, par exemple) à certaines catégories de service de véhicules, l'acheteur doit veiller à le mentionner dans le contrat.

NOTE Les catégories de service des véhicules ferroviaires sont données dans l'EN 45545-1.

Les manchons thermorétractables doivent être conformes à l'IEC 60684-3-212, l'IEC 60684-3-216 ou l'IEC 60684-3-271. Cependant, le fabricant de manchons peut utiliser des fluides d'essai différents afin de déterminer si les manchons satisfont aux exigences propres à certaines applications particulières (par exemple, les fluides d'essai mentionnés dans le Tableau H.1, ou suivant les normes nationales).

4.19 Connexions pour les courants de retour

Les exigences de l'IEC 61991 doivent être satisfaites.

4.20 Stockage des câbles

Il convient que le stockage des câbles avant l'installation sur les véhicules témoigne d'une qualité d'exécution adéquate.

Si nécessaire, les tourets et bobines doivent être protégés contre les influences environnementales climatiques défavorables (pluie, rayonnements UV, etc.).

Si nécessaire, un soin particulier doit être apporté lorsque les câbles sont stockés à l'extérieur:

- protection étanche au moyen de capuchons d'extrémité;
- protection contre les rayonnements UV au moyen, par exemple, d'un film autour des câbles sur le touret;
- pour les tourets stockés pendant une longue période à des températures plus basses, il convient de conserver les câbles pendant au moins 12 h dans les conditions d'installation avant leur utilisation.

Il convient que les câbles installés sur les nouveaux véhicules ne dépassent pas la date de fabrication de plus de 5 ans.

Le fabricant de câbles peut recommander d'autres exigences en matière de stockage.

4.21 Conduits de câbles

Il convient que les conduits de câbles et accessoires soient conformes à l'IEC 60423 et à l'IEC 61386-1.

Les conduits et accessoires non métalliques doivent satisfaire aux exigences de tenue au feu des normes pertinentes.

NOTE 1 Par exemple l'EN 45545 (toutes les parties).

Lors du choix du type de conduit de câbles, il convient de prendre en considération les conditions opérationnelles et environnementales prévues pour les différents emplacements spécifiés à l'Annexe K. Il convient que ces conditions comprennent, sans toutefois s'y limiter, les paramètres suivants:

- intérieur;
- extérieur;
- statique;
- dynamique;

- flexibilité;
- sur le toit (UV);
- combustible;
- huile;
- effet des basses températures;
- déclassement des câbles en courant en raison de l'effet thermique à l'intérieur des conduits fermés.

NOTE 2 Les tailles de filetages métriques sont utilisées pour les adaptateurs de conduits.

NOTE 3 Dans les applications extérieures, les adaptateurs de conduits satisfont généralement au degré IP 65 au minimum conformément à l'IEC 60529.

4.22 Raccordements électriques par serrage mécanique

Sauf si des couples sont spécifiés par le fabricant, la pression appliquée aux pièces conductrices en cuivre doit être initialement comprise entre 10 MPa et 20 MPa. Ces valeurs s'appliquent à la fois au cuivre semi-dur et au cuivre mou. Sauf spécification contraire du fabricant, la pression appliquée aux pièces conductrices en aluminium doit être initialement comprise entre 7,5 MPa et 15 MPa.

La contrainte maximale des écrous et vis métalliques ne doit pas dépasser 75 % de la limite élastique du matériau.

De plus, il convient de prendre en considération au moins les paramètres suivants:

- prévention des mouvements de cosses (fixations de câbles);
- ordre de montage des éléments du raccordement par serrage mécanique (rondelles, écrous, vis, goujons, etc.);
- définition dimensionnelle relative des éléments de fixation (diamètre intérieur et extérieur de la rondelle, diamètre de la vis ou du goujon, etc.);
- longueur supplémentaire pour les goujons ou les vis pour un ajustement correct des écrous;
- longueur suffisante pour 3 cosses pour les câbles d'alimentation ou 4 cosses pour les câbles de commande;
- influence environnementale (corrosion, vibrations, température, etc.), exigences de finition de surface et combinaison de matériaux (voir 4.17);
- types de rondelles (rondelles élastiques coniques, rondelles plates, etc.);
- possibilité d'utiliser des contre-écrous.

Pour éviter les mouvements relatifs entre les éléments d'un raccordement par serrage mécanique (c'est-à-dire la cosse de câble et les rondelles), il convient de fixer le câble.

La Figure 9, la Figure 10 et la Figure 11 montrent des exemples types d'ordres sur un raccordement par serrage mécanique.

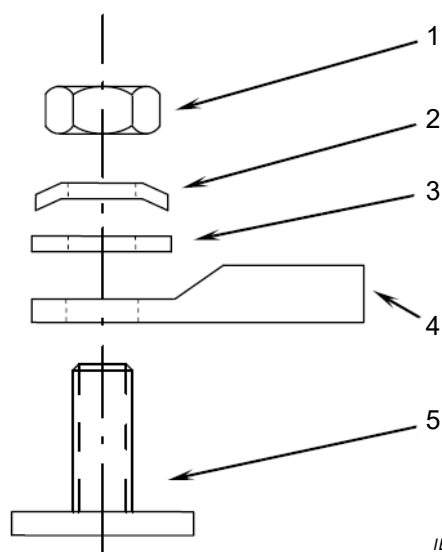
NOTE 1 Pour les restrictions à l'écoulement du courant dans les filetages, voir 4.17.3.

Lorsqu'une rondelle conique est utilisée, son diamètre doit être inférieur à celui de la rondelle plate après serrage au couple approprié.

Lorsque des goujons d'extrémité sont utilisés dans les raccordements par serrage mécanique, une surlongueur suffisante d'au moins deux filets doit être visible après serrage au couple approprié.

NOTE 2 Le nombre maximal de cosses de câbles est pris en considération pour déterminer la longueur du goujon.

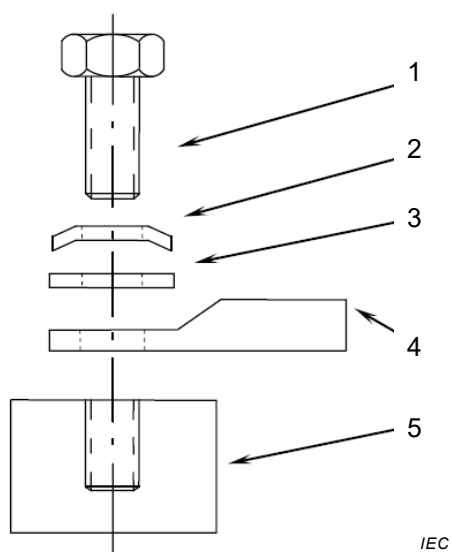
Le diamètre intérieur des rondelles et cosses de câbles doit être adapté au diamètre extérieur de la vis, et le diamètre extérieur de la rondelle doit être adapté à la cosse de câble.



Légende

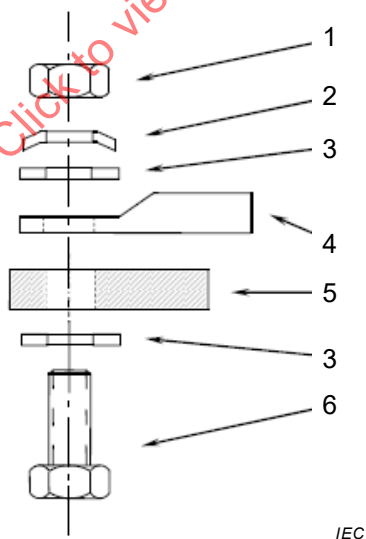
- 1 écrou
- 2 rondelle élastique conique
- 3 rondelle plate
- 4 cosse de câble
- 5 borne

Figure 9 – Exemple d'ordre de montage des éléments d'un raccordement par serrage mécanique (écrou)

**Légende**

- 1 vis
- 2 rondelle élastique conique
- 3 rondelle plate
- 4 cosse de câble
- 5 bossage

Figure 10 – Exemple d'ordre de montage des éléments d'un raccordement par serrage mécanique (connection boulonnée)

**Légende**

- 1 écrou
- 2 rondelle élastique conique
- 3 rondelle plate
- 4 cosse de câble
- 5 barre
- 6 vis

Figure 11 – Exemple d'ordre de montage des éléments d'un raccordement par serrage mécanique (vis+écrou)

5 Exigences de compatibilité électromagnétique (CEM)

5.1 Généralités

Les exigences spécifiées à l'Article 5 reposent sur l'hypothèse que la caisse du véhicule est conductrice. Si elle est constituée de matériaux non conducteurs, des mesures plus strictes sont nécessaires pour assurer la compatibilité électromagnétique.

Les câbles sont exposés aux interférences électromagnétiques et peuvent eux-mêmes constituer une source d'interférences.

Les exigences de l'IEC 62236-3-1 et de l'IEC 62236-3-2 (concernant les méthodes d'essai et les valeurs limites) doivent être satisfaites.

Pour satisfaire aux exigences de l'IEC 62236-3-1 et de l'IEC 62236-3-2, il convient de respecter autant que possible les exigences de câblage suivantes.

En ce qui concerne les champs magnétiques susceptibles d'avoir un impact sur les personnes portant des dispositifs médicaux implantables actifs, il convient d'apporter un soin particulier lors de la planification de la pose de câbles à haute tension (par exemple, il convient que les câbles d'alimentation et de retour des conducteurs d'alimentation en courant continu soient posés le plus près possible les uns des autres).

5.2 Catégories de câbles

En ce qui concerne la pose des câbles, il convient que tous les câbles soient classés en au moins trois catégories de compatibilité électromagnétique, comme indiqué dans le Tableau 5.

Tableau 5 – Catégories de câbles en termes de compatibilité électromagnétique

Catégorie CEM du câble	Fonction du câble
A	Alimentation 1: câbles de pantographe/organe de captage du courant pour l'alimentation de traction, des installations de chauffage et des convertisseurs d'alimentation auxiliaires. Alimentation 2: câbles pour moteurs, câbles pour résistances de freinage, câbles reliés aux filtres en ligne (côté onduleur), câbles d'alimentation des équipements auxiliaires, câbles de démarreur de moteur à combustion, etc.
B	Câbles de batterie, câbles de commande binaire, etc.
C	Câbles raccordés aux émetteurs de signaux, câbles d'antenne, câbles de haut-parleurs, câbles des bus de données, etc.
Les noms de catégories A, B, C ne sont pas obligatoires. Il est permis d'utiliser davantage de catégories et/ou sous-catégories. La division de la catégorie A en deux groupes a uniquement lieu pour des raisons de sécurité, voir 4.11.	

5.3 Séparation des câbles

Dans la mesure du possible, il convient de poser séparément les câbles appartenant à des catégories différentes. En théorie, la distance à respecter entre les câbles ou faisceaux de câbles dépend de la puissance, des composantes de fréquence, de la longueur de trajet parallèle, de l'immunité aux émissions et de l'interférence électromagnétique. Pour des raisons pratiques, les distances minimales dans l'air entre les câbles de catégories différentes doivent être conformes au Tableau 6.

Lorsque le croisement de câbles de catégories différentes est nécessaire, il doit être réalisé de manière perpendiculaire si possible.

Tableau 6 – Distances minimales entre câbles de catégories CEM différentes

Catégorie CEM des câbles	Distance de séparation m
A et B	0,1
A et C	0,2
B et C	0,1

Il convient de veiller autant que possible à poser séparément les câbles appartenant à des catégories différentes en respectant autant que faire se peut les distances de séparation minimales indiquées dans le Tableau 6.

Les distances de séparation minimales indiquées dans le Tableau 6 peuvent ne pas être appliquées en cas d'intersection à angle droit de câbles appartenant à des catégories CEM différentes.

Dans le cas où il n'est pas possible de réaliser les distances minimales entre câbles de catégories différentes (en particulier en ce qui concerne les distances entre les catégories A et C), il convient de séparer les câbles les uns des autres au moyen de gaines métalliques, d'écrans métalliques, de revêtements ou d'enveloppes métalliques, lesquels seront reliés électriquement à la structure de la caisse du véhicule (mise à la masse).

5.4 Conducteur de retour

Il convient de poser les câbles d'alimentation et de retour d'un circuit le plus près possible l'un de l'autre, en particulier dans le cas des câbles d'alimentation émettant des signaux perturbateurs, et des câbles de signalisation sensibles. Pour satisfaire à cette exigence, il convient d'utiliser dans la mesure du possible des conducteurs ou câbles torsadés.

NOTE Cette mesure peut réduire non seulement les problèmes de CEM, mais aussi de bruit.

5.5 Utilisation de la structure conductrice

Les câbles doivent être installés le plus près possible des structures conductrices du véhicule (plaques métalliques de la caisse, conduit de câbles métalliques, tubes métalliques, etc. reliés à la caisse du véhicule par une liaison conductrice). Cela permet d'utiliser au maximum l'effet réducteur qui résulte de l'annulation du champ émis par le câble par le champ opposé réfléchi par la surface métallique.

5.6 Blindage et mise à la terre

Les câbles de catégorie A peuvent être blindés afin de diminuer leurs émissions. Sauf recommandation contraire du fabricant de sous-systèmes, les câbles de catégorie C doivent être blindés pour accroître leur immunité. Si d'importants niveaux de perturbations électromagnétiques sont attendus, il convient de blinder l'ensemble des câbles, quelle que soit la catégorie à laquelle ils appartiennent.

Le blindage peut être réalisé par un écran autour d'un conducteur unique ou par un écran autour d'un câble ou par un écran autour de conducteurs multiples ou de câbles ou par une enveloppe métallique.

Si des écrans sont reliés à la caisse du véhicule, il convient de réaliser la connexion sur une surface aussi grande que possible (c'est-à-dire réaliser un branchement faiblement inductif). Dans une plage de fréquences supérieure à 100 kHz ou dans la mesure où d'autres solutions réalisables existent, il convient de ne pas utiliser les raccordements où l'écran est ramené à un simple conducteur ("amorce") et prolongé via une broche de connecteur ou jusqu'à un point de masse.

A des fréquences inférieures à 100 kHz où les amorces ne peuvent pas être évitées, il convient que la longueur de l'amorce soit la plus courte possible, avec une impédance basse et qu'elle ne dépasse pas 5 cm.

En règle générale, il convient de relier l'écran d'un câble à la structure de la caisse du véhicule (masse) aussi souvent que possible et au moins aux deux extrémités (voir Annexe I). Des exceptions à cette exigence peuvent être nécessaires lorsque le courant traversant l'écran est susceptible d'être trop élevé ou que des signaux indésirables peuvent être générés (signaux du capteur de vitesse monté sur essieu ou signaux sonores comme les signaux de haut-parleur, par exemple). Les fabricants de véhicule ont la capacité de choisir les méthodes de mise à la terre (par exemple, une extrémité de l'écran de mise à la terre ou les deux extrémités de l'écran de mise à la terre), de recommander l'équipement ou les fabricants de machine, selon l'accord et/ou le contrat entre le fabricant du véhicule et les fabricants d'équipement ou de machine.

Il convient d'établir un concept (ou plan) de mise à la terre pour s'assurer que les courants de compensation ou de retour les plus élevés, résultant des différences de tension entre les points de mise à la terre des écrans, ne traversent pas les écrans.

Dans les trolleybus, les écrans électromagnétiques doivent être reliés à la caisse du véhicule. S'ils existent, les écrans de terre de protection doivent être reliés à un potentiel intermédiaire sans la moindre connexion à la caisse du véhicule.

5.7 Raccordement d'alimentation par batterie

Lorsque cela est nécessaire, il convient d'employer des câbles de batterie distincts pour l'alimentation sur batterie des composants dont la charge est en forme d'impulsions ou commandée par impulsions. Il convient que la branche en dérivation des autres câbles d'alimentation soit alors située le plus près possible de la batterie.

5.8 Lignes de bus de données

Il convient que les lignes de bus de données passent constamment dans des fiches mobiles mâles dédiées. Il convient de recourir à des exceptions uniquement dans les cas où il n'existe aucune autre solution physique possible (par exemple, pour les coupleurs automatiques).

Différentes lignes de bus de données peuvent passer dans une seule et même fiche mobile mâle. Les conducteurs de bus de données doivent alors être affectés aux broches de la fiche mobile mâle de façon à assurer la plus grande séparation possible entre les différentes lignes de bus de données.

NOTE Ceci présente également des avantages en termes d'encombrement dans le boîtier de la fiche.

L'interruption de l'écran du bus de données, si nécessaire, doit être conforme à la spécification ou à la norme relative aux bus de données.

6 Marquage d'identification

6.1 Généralités

L'Article 6 définit le marquage à appliquer, en plus du marquage du type, sur les câbles ou les équipements afin d'identifier leurs fonctions respectives.

Il convient de pouvoir modifier le marquage pour l'identification des câbles, conducteurs, connecteurs, etc. Le marquage lui-même doit être permanent et facilement lisible pendant la durée de vie prévue du câblage. Les informations apposées sur le marquage doivent être conformes à la documentation (schémas de circuits, listes de câblage, etc., selon le cas).

6.2 Marquage pour l'identification des câbles et jeux de barres

Les câbles et/ou les conducteurs installés à bord du véhicule, y compris ceux prévus en réserve, doivent porter un marquage d'identification à chaque borne ainsi qu'aux autres points de déconnexion possibles.

Les différents conducteurs d'un câble à plusieurs conducteurs peuvent ne pas être marqués si le câble est marqué conformément à la documentation (schémas de circuits, listes de câblage, etc., selon le cas) et si les différents conducteurs sont identifiables par la couleur de leur isolant ou par des chiffres, etc., appliqués sur l'isolant, ou du simple fait de leur configuration (voir Figure 12).

NOTE Il existe pour les câbles plusieurs systèmes de marquage, par exemple:

- numéros uniques: chaque partie d'un câble porte un numéro qui l'identifie. Ce système aboutit au même marquage aux deux extrémités du câble;
- numéros d'équipement: chaque extrémité de chaque partie de conducteur porte un numéro indiquant le point de connexion sur l'équipement où aboutit le conducteur. Dans ce système, les marquages aux deux extrémités sont différents.

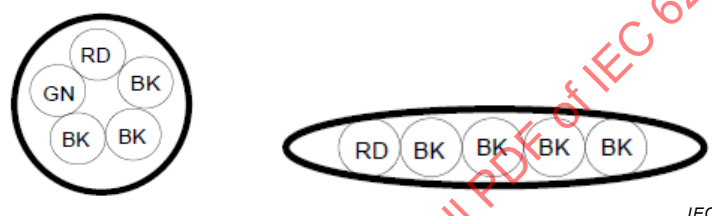


Figure 12 – Exemples de constructions de câbles ou de fiches où l'identification résulte de la configuration

Pour les abréviations de couleurs, voir l'IEC 60757.

Si l'espace disponible n'est pas suffisant pour permettre le marquage d'identification de l'ensemble des conducteurs, leur identification peut être omise si elle est présente de manière claire ou remplacée par un système de codage des conducteurs par chiffre.

Si un marquage d'identification par impression directe sur les câbles est utilisé, la méthode d'impression doit être soumise aux mêmes essais de contraste que les autres systèmes de marquage d'identification et il convient de l'utiliser uniquement pour une section minimale $\geq 1 \text{ mm}^2$ afin d'améliorer la lisibilité. La direction de l'impression peut être en miroir pour respecter la direction de lecture vers les deux extrémités de terminaison.

S'il existe un risque de confusion, les jeux de barres doivent être marqués à des fins d'identification.

6.3 Marquage d'identification des borniers, des bornes individuelles, des fiches et des réceptacles

Tous les borniers doivent être marqués à des fins d'identification, dès lors qu'il existe un risque de confusion. Ce marquage doit être appliqué sur le bornier, à proximité du bornier ou directement sur son couvercle.

Les bornes du bornier doivent être identifiées par des chiffres, lettres, symboles, etc.

Il convient de marquer l'ensemble des fiches/réceptacles à des fins d'identification. S'il existe un risque de confusion, les fiches/réceptacles doivent être marqués à des fins d'identification ou être codés.

6.4 Marquage des isolateurs

Les isolateurs peuvent ne pas être marqués à des fins d'identification, mais doivent être identifiables à l'aide de la documentation disponible.

Tout marquage éventuel doit être apposé à côté de l'isolateur.

6.5 Marquage d'avertissement contre les chocs électriques

Les parties sous tension des éléments conducteurs, auxquelles le personnel d'exploitation ou de maintenance peut avoir accès, doivent être signalées en conséquence par des étiquettes d'avertissement.

Pour plus d'informations, se reporter à l'IEC 61991 et à l'IEC 61310-2.

6.6 Marquage à l'aide de manchons thermorétractables

Lorsque le marquage est réalisé à l'aide de manchons thermorétractables, les essais décrits à l'Annexe H doivent être réalisés pour démontrer la qualité du marquage.

NOTE L'impression noire sur des manchons thermorétractables jaunes ou blancs est préférable pour des raisons de contraste.

7 Essais

7.1 Remarques générales concernant les essais

Une fois l'installation terminée, l'ensemble du câblage doit être soumis à des essais individuels de série. Il convient de terminer tous les essais des éléments constitutifs, y compris les essais de type des câbles, avant de débiter ces essais.

En ce qui concerne les essais du câblage à bord du matériel roulant, l'IEC 61133:2016 doit s'appliquer. Cette dernière spécifie les points suivants:

- la longueur des câbles (se reporter à l'IEC 61133:2016, 8.2.2.3, pour connaître les longueurs adéquates pour les liaisons entre bogie et véhicule et entre véhicules);
- les essais diélectriques (IEC 61133:2016, 8.7). Les essais individuels de série appropriés doivent démontrer que le câblage a été correctement réalisé et installé, et qu'il ne comporte pas de matériaux d'isolation endommagés. Ils ne portent pas, en revanche, sur les équipements installés ni sur le matériau du câble. Ces aspects sont supposés avoir été vérifiés au cours de leur cycle de fabrication respectif (voir ci-après);
- les circuits de mise à la terre (IEC 61133:2016, 8.8);
- les circuits de commande du train (IEC 61133:2016, 8.15);
- le système de traction (IEC 61133:2016, 8.17);
- les systèmes de sécurité (IEC 61133:2016, 8.20);
- la compatibilité électromagnétique (IEC 61133:2016, 9.15).

7.2 Essais diélectriques

7.2.1 Généralités

Ces essais ont pour objet de vérifier l'intégrité de l'isolation des circuits électriques du véhicule.

Dans une série de véhicules ou composants câblés, ces essais doivent être réalisés sur l'ensemble des véhicules ou composants câblés.

Tous les systèmes de raccordement qui font partie des installations de câblage à bord du matériel roulant ferroviaire (connecteurs, bornes, etc.) doivent être conçus pour satisfaire à tous les essais de câblage décrits en 7.2.2 et en 7.2.3.

Les essais de tenue en tension décrits en 7.2.2 peuvent être réalisés non pas sur le véhicule terminé, mais à l'achèvement du câblage après le montage, mais avant le raccordement des équipements électriques dont la rigidité diélectrique a déjà été vérifiée individuellement, par exemple selon leur norme d'équipement. Dans ce cas, l'essai d'impédance d'isolation défini en 7.2.3 doit être exécuté une fois le véhicule complètement terminé.

Les équipements, qui ont préalablement satisfait aux essais diélectriques suivant une norme convenue, peuvent également être débranchés avant les essais diélectriques à bord du véhicule.

Dans le cas où une double isolation du matériel électrique par rapport à la caisse du véhicule est spécifiée, par exemple pour les systèmes des trolleybus, l'existence de cette isolation doit être vérifiée. On doit vérifier également que chaque élément du système d'isolation est capable de satisfaire aux exigences des essais diélectriques définis en 7.2.

Les éventuels essais fonctionnels doivent être réalisés après les essais diélectriques.

L'intégrité de l'isolation doit être démontrée par des essais de tenue en tension (voir 7.2.2) et d'impédance d'isolation (voir 7.2.3).

Si deux essais d'impédance de l'isolation sont réalisés, l'un avant l'essai de tenue en tension et l'autre après l'essai de tenue en tension, les conditions d'essai doivent être les mêmes pour ces deux essais, et la valeur d'impédance mesurée au cours de l'essai après l'essai de tenue en tension ne doit pas être inférieure de plus de 10 % à celle mesurée au cours de l'essai initial.

NOTE Dans de nombreux cas, il est utile de réaliser un essai d'impédance d'isolation (courant continu de 500 V) avant l'essai de tenue en tension, ceci afin de détecter des défauts élémentaires d'isolation sans avoir à appliquer une tension plus élevée.

La méthode d'essai utilisée et les résultats d'essai doivent être consignés. Ces informations doivent être disponibles sur demande de l'acheteur.

7.2.2 Essai de tenue en tension

7.2.2.1 Préparation de l'essai

La plupart du temps, le matériel se compose de plusieurs groupes de circuits à des niveaux de tension différents. Chaque groupe doit subir séparément un essai de mise à la terre, tous les autres groupes étant en principe mis à la terre.

Pour s'assurer que tous les éléments du circuit sont connectés, il convient de fermer ou de court-circuiter les contacteurs et autres appareillages de connexion adéquats. Toutes les précautions nécessaires doivent être prises pour éviter des tensions anormales induites par des effets capacitifs ou inductifs.

Les équipements susceptibles d'être détériorés pendant les essais, par exemple les composants électroniques, doivent être déconnectés ou court-circuités. Ils doivent au préalable avoir satisfait à un essai diélectrique conformément à la norme d'équipement applicable.

Les tensions à appliquer dans le cadre de l'essai de tenue en tension sont indiquées dans le Tableau 7 et le Tableau 8 ci-après. Ces tensions doivent être appliquées entre les différents circuits et la terre.

Chaque conducteur ou circuit peut être soumis séparément à un essai de mise à la terre. Dans ce cas, les autres conducteurs ou circuits peuvent ne pas être mis à la terre.

Il est admis de soumettre à essai chaque circuit séparément, car cela correspond à une pratique courante, c'est-à-dire dans le cas d'essais réalisés par des machines automatiques.

7.2.2.2 Tensions d'essai

Sauf accord contraire spécifié dans le contrat, les tensions d'essai doivent être choisies comme indiqué ci-après.

a) Essai par application de courant alternatif (50/60 Hz).

Les tensions d'essai doivent être choisies conformément aux Tableaux 7 et 8. Elles ne doivent toutefois pas dépasser 85 % des tensions d'essai pour les composants associés, y compris les tensions d'essai de type des câbles.

Il convient de préférence de réaliser les essais par application de courant alternatif efficace de 50/60 Hz. Si les circuits soumis aux essais comprennent des diodes ou des condensateurs, on doit appliquer la valeur de tension continue adéquate (tension continue = tension alternative $\times \sqrt{2}$).

La valeur de la tension d'essai doit être augmentée progressivement de zéro à la tension d'essai, qui doit être atteinte en moins de 5 s puis maintenue pendant au minimum 10 s, avant d'être progressivement ramenée à zéro. Une durée d'essai inférieure à 1 min est permise. Si une décharge de contournement se produit au cours de cet essai, il convient d'interrompre l'essai en arrêtant immédiatement l'application de tension.

NOTE Dans certaines normes, le maintien de la tension d'essai pendant 1 min, voire plus est permis. Dans le présent document, le matériau de câble utilisé a par hypothèse satisfait à un essai produit avant son installation, et l'objet de l'essai décrit dans le présent document est de détecter d'éventuels problèmes d'installation.

Cet essai est considéré satisfait lorsqu'aucune décharge de contournement ne se produit et qu'aucun claquage n'a été détecté pendant son exécution.

b) Essai par tension de choc

Cette procédure peut être privilégiée en cas d'utilisation de machines d'essai automatiques. A défaut d'un accord défini dans le contrat sur les valeurs des tensions à appliquer, celles-ci doivent être choisies selon les Tableau 7 et Tableau 8. Elles doivent être appliquées conformément à l'IEC 61180, et l'essai est considéré satisfait lorsqu'aucune décharge de contournement ne se produit et qu'aucun claquage n'a été détecté.

Tableau 7 – Tensions d'essai selon les tensions à bord

Tension nominale à bord (courant continu ou alternatif efficace, entre conducteur et la terre) U_n V	Tension d'essai CA 50/60 Hz U_p V	Tension d'essai de choc (1,2/50 μ s selon l'IEC 61180) U_{imp} V
inférieure ou égale à 36	500	1 000
inférieure ou égale à 72	750	1 500
inférieure ou égale à 120	1 000	2 000
inférieure ou égale à 240	1 500	3 000
inférieure ou égale à 360	2 000	4 000
supérieure à 360	$(2,5 \times U_n + 2\,000) \times 0,85$	$U_p \times 2$

Tableau 8 – Tensions d'essai selon les tensions de ligne d'alimentation

Tension nominale de ligne d'alimentation U_n V	Tension d'essai CA 50/60 Hz U_p V	Tension d'essai de choc (1,2/50 μ s selon l'IEC 61180) U_{imp} V
750 CC	3 300	6 500
1 500 CC	4 900	10 000
3 000 CC	8 100	20 000
15 000 CA ^a	34 000	65 000
25 000 CA ^b	55 000	110 000

Pour une tension nominale de ligne d'alimentation plus élevée (50 000 V, par exemple), il convient de choisir la tension d'essai sur la base de la norme applicable ou par accord entre l'utilisateur et le fabricant.

^a 16,7 Hz.
^b 50 Hz.

Si les essais de tenue en tension sont répétés, il convient de réduire la valeur de la tension d'essai de 20 % par rapport à la tension d'essai initiale à chaque reprise de l'essai, ceci afin de ne pas détruire l'isolation. Il convient d'appliquer au maximum une réduction à 60 % de la tension d'essai initiale.

7.2.3 Essai d'impédance d'isolation

7.2.3.1 Préparation de l'essai

Il convient que toutes les phases de préparation de l'essai soient identiques à celles décrites en 7.2.2.

7.2.3.2 Limites de l'essai

Sauf valeurs contraires définies dans le contrat, la tension d'essai appliquée doit être une tension continue de 500 V, et les valeurs minimales d'impédance d'isolation mesurées ne doivent pas être inférieures à celles données ci-après pour les véhicules neufs:

- 5 M Ω pour les circuits dont la tension assignée est supérieure ou égale à 300 V CC ou 100 V CA;
- 1 M Ω pour les circuits dont la tension assignée est inférieure à 300 V CC ou 100 V CA.

Une valeur inférieure à 1 M Ω peut être acceptée en cas de conditions d'essai extraordinaires, telles qu'une humidité relative élevée ou une température ambiante élevée, ou l'emploi de câbles particuliers, etc.

Ces conditions doivent être consignées.

Lorsque les essais sont réalisés sur des véhicules qui ont été en service, il convient d'accepter des valeurs d'impédance d'isolation réduites.

Annexe A (normative)

Dimensionnement des câbles – Calcul dans des conditions de courant de courte durée

Si le fonctionnement assure le refroidissement du câble, en raison du fait que la charge n'est pas en régime continu ou en régime cyclique permanent, le calcul dans des conditions de courant de courte durée s'applique. La charge n'est pas en régime continu ou en régime cyclique permanent lorsque la "durée hors service" est supérieure à plus de 5 fois la constante de temps thermique.

- I_{load} est la charge maximale dans t_2 ;
 t_2 est la durée d'un cycle de service type en service, exprimée en minutes (min);
 T est la constante de temps thermique du câble, exprimée en minutes (la constante de temps thermique ou une formule équivalente doit être fournie par le fabricant de câbles).

Le facteur de correction k_4 , défini par le Tableau A.1, doit être utilisé pour le calcul de I_{corr} en 4.2.3 b). Une interpolation linéaire entre deux lignes du Tableau A.1 est permise.

Tableau A.1 – Facteur de correction k_4

Coefficient d'utilisation t_2/T	Facteur de correction k_4
3	1,02
2,7	1,03
2,4	1,04
2,1	1,06
1,8	1,09
1,5	1,13
1,2	1,19
0,9	1,30
0,75	1,38
inférieur ou égal à 0,6	1,49

Pour les câbles d'alimentation et de commande offrant une tenue au feu spéciale avec des aires de section (A) supérieures à 50 mm², la formule empirique suivante peut être utilisée pour déterminer la constante de temps thermique T :

$$T = 1,8 \times (\sqrt{A} - 5)$$

où

A est la section du conducteur exprimée en millimètres carrés (mm²);

T est la constante de temps thermique du câble exprimée en minutes (min).

NOTE Les valeurs de constante de temps thermique vérifiées par les fournisseurs de câbles peuvent être utilisées de manière à être plus adaptées aux sections particulières, aux situations d'intégration de câble, etc.