

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Railway applications – Fixed installations – Electric traction overhead contact lines

Applications ferroviaires – Installations fixes – Lignes aériennes de contact pour la traction électrique





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED
Copyright © 2013 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you 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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 on-line and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

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

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

Liens utiles:

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

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI 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.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. 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 au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



IEC 60913

Edition 2.0 2013-03

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Railway applications – Fixed installations – Electric traction overhead contact lines

Applications ferroviaires – Installations fixes – Lignes aériennes de contact pour la traction électrique

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE **XD**
CODE PRIX

ICS 45.060

ISBN 978-2-83220-638-6

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

CONTENTS

FOREWORD.....	8
1 Scope.....	10
2 Normative references.....	10
3 Terms, definitions, symbols and abbreviations.....	13
3.1 Systems	13
3.2 Conductors	15
3.3 Electrical	15
3.4 Geometrical.....	16
3.5 Foundations.....	17
3.6 Structures.....	17
3.7 Symbols and abbreviations	17
4 Fundamental design data.....	19
4.1 General	19
4.2 Line characteristics.....	20
4.3 Electrical power system design	20
4.4 Vehicle characteristics	20
4.5 Current collectors	21
4.6 Environmental conditions	21
4.7 Design life	21
5 System requirements	21
5.1 Design of electrical system	21
5.1.1 General	21
5.1.2 Temperature rise in conductors.....	21
5.1.3 Clearances between live parts of contact lines and earth.....	22
5.1.4 Clearances between adjacent live a.c. contact lines of differing voltage phases.....	23
5.2 Design of current collection systems	24
5.2.1 General	24
5.2.2 Elasticity and its variation.....	24
5.2.3 Vertical movement of contact point.....	25
5.2.4 Wave propagation velocity	25
5.2.5 Quality of current collection.....	26
5.3 Mechanical design of contact wire loads.....	27
5.3.1 Permissible tensile stress σ_w	27
5.3.2 Maximum temperature K_{temp}	28
5.3.3 Allowable wear K_{wear}	28
5.3.4 Wind and ice loads $K_{icewind}$	28
5.3.5 Efficiency of tensioning devices K_{eff}	29
5.3.6 Termination fittings K_{clamp}	29
5.3.7 Joints K_{joint}	29
5.4 Mechanical design of catenary wire loads.....	29
5.4.1 Permissible tensile loading F_w	29
5.4.2 Maximum temperature K_{temp}	29
5.4.3 Wind loads K_{wind}	30
5.4.4 Ice loads K_{ice}	30
5.4.5 Automatic tensioning accuracy and efficiency K_{eff}	30
5.4.6 Termination fittings K_{clamp}	30

5.4.7	Additional vertical load K_{load}	30
5.5	Mechanical design of other stranded conductors	31
5.6	Mechanical design of solid wires	31
5.7	Mechanical design of ropes of non-conducting materials	31
5.7.1	General	31
5.7.2	Permissible tensile loading F_W	31
5.7.3	Wind loads K_{wind}	31
5.7.4	Ice loads K_{ice}	31
5.7.5	Termination clamps K_{clamp}	31
5.7.6	Vertical loads K_{load}	32
5.7.7	Minimum bending radius K_{radius}	32
5.8	Suspension systems	32
5.9	Tensioning systems	32
5.10	Geometry of overhead equipment	32
5.10.1	Horizontal deflection of contact wire	32
5.10.2	Uplift	33
5.10.3	Variation in contact wire height	33
5.10.4	Minimum contact wire height	33
5.10.5	Minimum design contact wire height	34
5.10.6	Nominal contact wire height	34
5.10.7	Maximum design contact wire height	34
5.11	Contact line arrangement above turnouts and crossings	35
5.12	Overlap arrangements	35
5.13	Specific requirements for overhead contact lines for trolleybus systems	36
5.13.1	General	36
5.13.2	Line characteristics	36
5.13.3	Vehicle characteristics	37
5.13.4	Current collector system	37
5.13.5	Static contact forces	38
5.13.6	Trolleybus in the vicinity of tramways	38
5.14	Tolerances and limits	38
6	Structures	39
6.1	Basis of design	39
6.1.1	General	39
6.1.2	Basic requirements	39
6.1.3	Design with regard to structural limits	40
6.1.4	Classification of actions	40
6.1.5	Reliability levels	41
6.1.6	Models for structural analysis and resistance	41
6.1.7	Design values and verification methods	41
6.2	Actions on overhead contact lines	42
6.2.1	General	42
6.2.2	Permanent loads	43
6.2.3	Variable loads	43
6.2.4	Wind loads	43
6.2.5	Ice loads	47
6.2.6	Combined wind and ice loads	47
6.2.7	Temperature effects	48
6.2.8	Construction and maintenance loads	48

6.2.9	Accidental loads.....	48
6.2.10	Special actions	48
6.3	Types of structures and related load cases	49
6.3.1	Load cases and load combinations.....	49
6.3.2	Type of structures and application of load cases	50
6.3.3	Partial factors for actions	52
6.4	Design of cross-span supports and structures	53
6.4.1	Analysis of internal forces and moments	53
6.4.2	Analysis of resistance	54
6.4.3	Material partial factors	54
6.4.4	Verification of resistance.....	55
6.4.5	Verification of serviceability.....	55
6.4.6	Material for structures	55
6.4.7	Corrosion protection and finishes	56
6.5	Foundations.....	56
6.5.1	General	56
6.5.2	Design of foundations	56
6.5.3	Calculation of actions.....	57
6.5.4	Geotechnical design	57
6.5.5	Structural design.....	59
6.5.6	Partial factors for foundations	60
6.5.7	Verification of stability.....	60
6.5.8	Calculation of displacements.....	61
6.5.9	Materials for foundations.....	61
6.5.10	Structural details.....	62
6.5.11	Protection against corrosion and weathering	62
6.5.12	Electrical design	62
6.5.13	Installation of foundations	63
7	Component requirements.....	63
7.1	General	63
7.1.1	Design life	63
7.1.2	Component identification.....	64
7.1.3	Corrosion and erosion.....	64
7.2	Supporting assemblies.....	64
7.3	Contact wire	64
7.4	Other conductors and ropes.....	64
7.5	Tensioning devices	65
7.6	Mechanical midpoints	65
7.6.1	General	65
7.6.2	Catenary wire fixed points	65
7.6.3	Contact wire fixed points	65
7.7	Droppers	66
7.7.1	Mechanical requirements	66
7.7.2	Electrical requirements	66
7.8	Clamps and line fittings.....	66
7.8.1	Mechanical requirements	66
7.8.2	Electrical requirements	67
7.9	Electrical connectors	67
7.10	Insulators	67

7.11	Sectioning devices.....	67
7.11.1	Definition	67
7.11.2	Mechanical requirements	67
7.11.3	Electrical requirements	68
7.12	Disconnectors and drives.....	68
7.13	Protection devices	68
7.13.1	Covers and obstacles.....	68
7.13.2	Surge protection devices.....	68
7.14	Specific components for trolleybus systems	68
7.14.1	General	68
7.14.2	Turnouts and crossings.....	69
8	Testing	69
8.1	General	69
8.2	Support assemblies	69
8.2.1	Type test	69
8.2.2	Random sample test	78
8.2.3	Routine test	79
8.3	Contact wires.....	79
8.4	Other conductors	80
8.5	Tensioning devices	80
8.5.1	Tests required	80
8.5.2	Type tests for tensioning devices with balance weights.....	80
8.5.3	Type tests for tensioning device without balance weight	81
8.6	Mechanical midpoints	81
8.7	Droppers	82
8.7.1	Tests required	82
8.7.2	Mechanical fatigue test	82
8.7.3	Mechanical tests	83
8.8	Clamps, splices and other fittings.....	84
8.9	Electrical connectors	84
8.9.1	General	84
8.9.2	Mechanical fatigue tests.....	84
8.10	Insulators	85
8.11	Sectioning devices.....	85
8.11.1	Type test	85
8.11.2	Field test	86
8.11.3	Sample tests.....	86
8.11.4	Routine tests	87
8.12	Disconnectors and drives.....	87
8.13	Surge protection devices.....	87
8.14	Specific components for trolleybus systems	87
8.15	System test	87
8.15.1	Demonstration of conformity	87
8.15.2	Acceptance tests	88
8.15.3	Commissioning tests.....	88
9	Minimum documentation	89
9.1	General	89
9.2	System specification	89
9.3	Basic design	89

9.4	Installation design.....	89
9.5	Installation and maintenance.....	89
Annex A (informative)	Current-carrying capacity of conductors.....	90
Annex B (informative)	Structural details.....	91
Annex C (informative)	Geotechnical soil investigation and soil characteristics.....	92
Annex D (informative)	Information on uniformity of elasticity of OCL within a span length.....	94
Annex E (normative)	Special national conditions.....	95
	Bibliography.....	96
Figure 1	– Relationship between contact wire heights and pantograph operating position.....	35
Figure 2	– Position of return wire in relation to right-of-way.....	37
Figure 3	– Wind action on lattice steel structures.....	46
Figure 4	– Definition of drag factors for double channel structure.....	47
Figure 5	– Description of dimensions and minimum conductor lengths.....	76
Figure 6	– Potential measuring points at a connecting clamp and a butt joining clamp.....	77
Figure 7	– Potential measuring points at a T-type infeed terminal.....	77
Figure 8	– Example of a tensioning device measurement test.....	81
Figure 9	– Example of a dropper test cycle.....	83
Figure 10	– Example of a dropper tension test assembly.....	84
Figure 11	– Example of a test cycle for an electrical connection.....	85
Table 1	– Temperature limits for material mechanical properties.....	22
Table 2	– Electrical clearances.....	23
Table 3	– Clearance between differing phases.....	24
Table 4	– Contact force.....	27
Table 5	– Factor K_{temp} for contact wires.....	28
Table 6	– Factor $K_{icewind}$ for contact wires.....	28
Table 7	– Factor K_{temp} for stranded conductors.....	29
Table 8	– Factor K_{wind} for stranded conductors.....	30
Table 9	– Factor K_{ice} for stranded conductors.....	30
Table 10	– Factor K_{radius} for ropes of non-conducting materials.....	32
Table 11	– Contact wire gradients.....	33
Table 12	– Important parameters to assist in the definition of tolerances and limits.....	39
Table 13	– Recommended values for factor C_{str} for different structure types.....	47
Table 14	– Summary of load cases to be considered for each type of structures.....	52
Table 15	– Summary of partial factors for actions.....	53
Table 16	– Recommended values for partial factors γ_M for steel material.....	54
Table 17	– Recommended values for partial factors γ_M for concrete structures.....	54
Table 18	– Recommended values for partial factors γ_M for foundations.....	60
Table 19	– Tightening torques M_t for regularly used bolts.....	71
Table 20	– Examples of bolt connections.....	71
Table 21	– Assignment of the strength of bolt and nut.....	72

Table 22 – Conversion factor for tightening torques	72
Table 23 – Minimum conductor lengths	76
Table A.1 – Continuous current-carrying capacity of conductors and contact wires	90
Table B.1 – Recommended dimensions of connections and edge distances of jointing components	91
Table C.1 – Geotechnical characteristic parameters of some standard soils according to EN 50341-1:2001, Annex N for Europe	93
Table D.1 – Uniformity u of elasticity	94
Table E.1 – Typical tolerances of overhead contact line system	95

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RAILWAY APPLICATIONS – FIXED INSTALLATIONS – ELECTRIC TRACTION OVERHEAD CONTACT LINES

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 60913 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1988. It constitutes a technical revision of the initial standard based on European standard EN 50119.

The main technical changes with regard to the previous edition deal with:

- fundamental design data,
- system requirements,
- structures,
- components requirements,
- testing

for overhead contact line design.

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

FDIS	Report on voting
9/1745/FDIS	9/1773/RVD

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

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

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

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

RAILWAY APPLICATIONS – FIXED INSTALLATIONS – ELECTRIC TRACTION OVERHEAD CONTACT LINES

1 Scope

This International Standard applies to electric traction overhead contact line systems in heavy railways, light railways, trolley busses and industrial railways of public and private operators.

It applies to new installations of overhead contact line systems and for the complete reconstruction of existing overhead contact line systems.

This standard contains the requirements and tests for the design of overhead contact lines, requirements for structures and their structural calculations and verifications as well as the requirements and tests for the design of assemblies and individual parts.

This standard does not provide requirements for conductor rail systems where the conductor rails are located adjacent to the running rails.

2 Normative references

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

NOTE Normative references are made to ISO and IEC standards. For some necessary references, ISO and IEC standards do not exist. In these cases, references are made to European Standards which are normative for Europe according to EN 50119. For non-European countries these references are only informative and listed in the bibliography.

IEC 60050-811, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 811: Electric traction*

IEC 60071 (all parts), *Insulation co-ordination*

IEC 60099 (all parts), *Surge arresters*

IEC 60099-1, *Surge arresters – Part 1: Non-linear resistor type gapped surge arresters for a.c. systems*

IEC 60099-4, *Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems*

IEC 60168, *Tests on indoor and outdoor post insulators of ceramic material or glass for systems with nominal voltages greater than 1 000 V*

IEC 60273, *Characteristics of indoor and outdoor post insulators for systems with nominal voltages greater than 1 000 V*

IEC 60305, *Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1 000 V – Ceramic or glass insulator units for a.c. systems – Characteristics of insulator units of the cap and pin type*

IEC 60383 (all parts), *Insulators for overhead lines with nominal voltage above 1 000 V*

IEC 60433, *Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1 000 V – Ceramic insulators for a.c. systems – Characteristics of insulator units of the long rod type*

IEC 60494 (all parts), *Railway applications – Rolling stock – Pantographs – Characteristics and tests*

IEC 60494-1, *Railway applications – Rolling stock – Pantographs – Characteristics and tests – Part 1: Pantographs for mainline vehicles*

IEC 60494-2, *Railway applications – Rolling stock – Pantographs – Characteristics and tests – Part 2: Pantographs for metros and light rail vehicles*

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

IEC 60660, *Insulators – Tests on indoor post insulators of organic material for systems with nominal voltages greater than 1 000 V up to but not including 300 kV*

IEC 60672-1, *Ceramic and glass insulating materials – Part 1: Definitions and classification*

IEC 60672-2, *Ceramic and glass insulating materials – Part 2: Methods of test*

IEC 60672-3, *Ceramic and glass-insulating materials – Part 3: Specifications for individual materials*

IEC 60850, *Railway applications – Supply voltages of traction systems*

IEC 60889, *Hard-drawn aluminium wire for overhead line conductors*

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

IEC 61089, *Round wire concentric lay overhead electrical stranded conductors*

IEC 61109, *Insulators for overhead lines – Composite suspension and tension insulators for a.c. systems with a nominal voltage greater than 1 000 V – Definitions, test methods and acceptance criteria*

IEC 61232, *Aluminium-clad steel wires for electrical purposes*

IEC/TR 61245, *Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on d.c. systems*

IEC 61284:1997, *Overhead lines – Requirements and tests for fitting*

IEC 61325, *Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1 000 V – Ceramic or glass insulator units for d.c. systems – Definitions, test methods and acceptance criteria*

IEC 61773, *Overhead lines – Testing of foundations for structures*

IEC 61952, *Insulators for overhead lines – Composite line post insulators for a.c. systems with a nominal voltage greater than 1 000 V – Definitions, test methods and acceptance criteria*

IEC 61992 (all parts), *Railway applications – Fixed installations – DC switchgear*

IEC 61992-1, *Railway applications – Fixed installations – DC switchgear – Part 1: General*

IEC 61992-4, *Railway applications – Fixed installations – DC switchgear – Part 4: Outdoor d.c. disconnectors, switch-disconnectors and earthing switches*

IEC 61992-5, *Railway applications – Fixed installations – DC switchgear – Part 5: Surge arresters and low-voltage limiters for specific use in d.c. systems*

IEC 62128 (all parts), *Railway applications – Fixed installations*

IEC 62128-1:2003, *Railway applications – Fixed installations – Part 1: Protective provisions relating to electrical safety and earthing*

IEC 62128-2:2003, *Railway applications – Fixed installations – Part 2: Protective provisions against the effects of stray currents caused by d.c. traction systems*

IEC 62236-2:2008, *Railway applications – Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Emission of the whole railway system to the outside world*

IEC 62271-102, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches*

IEC 62271-103:2011, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 103: Switches for rated voltages above 1 kV up to and including 52 kV*

IEC 62486, *Railway applications – Current collection systems – Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line (to achieve free access)*

IEC 62497 (all parts), *Railway applications – Insulation coordination*

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

IEC 62497-2, *Railway applications – Insulation coordination – Part 2: Overvoltages and related protection*

IEC 62498-2, *Railway applications – Environmental conditions for equipment – Part 2: Fixed electrical installations*

IEC 62505 (all parts), *Railway applications – Fixed installations – Particular requirements for a.c. switchgear*

IEC 62505-2, *Railway applications – Fixed installations – Particular requirements for a.c. switchgear – Part 2: Single-phase disconnectors, earthing switches and switches with U_n above 1 kV*

IEC 62621, *Railway applications – Fixed installations – Electric traction – Special requirements for composite insulators used for overhead contact line systems*

ISO 630 (all parts), *Structural steels*

ISO 898-1, *Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel – Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes – Coarse thread and fine pitch thread*

ISO 898-2:2012, *Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel – Part 2: Nuts with specified property classes – Coarse thread and fine pitch thread*

ISO 1461, *Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles – Specifications and test methods*

ISO 2394, *General principles on reliability for structures*

ISO 3010:2001, *Basis for design of structures – Seismic actions on structures*

ISO 4354, *Wind actions on structures*

ISO 10721 (all parts), *Steel structures*

ISO/TR 11069:1995, *Aluminium structures – Material and design – Ultimate limit state under static loading*

ISO 14688-1, *Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 1: Identification and description*

ISO 14688-2, *Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 2: Principles for a classification*

ISO 14689-1, *Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of rock – Part 1: Identification and description*

ISO/TS 17892 (all parts), *Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil*

ISO 22475-1, *Geotechnical investigation and testing – Sampling methods and groundwater measurements – Part 1: Technical principles for execution*

ISO 22476-2, *Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 2: Dynamic probing*

ISO 22476-3, *Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 3: Standard penetration test*

ISO 23469:2005, *Bases for design of structures – Seismic actions for designing geotechnical works*

3 Terms, definitions, symbols and abbreviations

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-811 and the following apply.

3.1 Systems

3.1.1

contact line system

support network for supplying electrical energy from substations to electrically powered traction units, which covers overhead contact line systems and conductor rail systems; the electrical limits of the system are the feeding point and the contact point to the current collector

Note 1 to entry: The mechanical system may comprise

- the contact line,
- structures and foundations,
- supports and any components supporting or registering the conductors,
- head and cross-spans,
- tensioning devices,

- along-track feeders, reinforcing feeders, and other lines like earth wires and return conductors as far as they are supported from contact line system structures,
- any other equipment necessary for operating the contact line,
- conductors connected permanently to the contact line for supply of other electrical equipment such as lights, signal operation, point control and point heating.

3.1.2

contact line

conductor system for supplying traction units with electrical energy via current-collection equipment

Note 1 to entry: This includes all current-collecting conductors and conducting rails or bars, including the following:

- reinforcing feeders;
- cross-track feeders;
- disconnectors;
- section insulators;
- over-voltage protection devices;
- supports that are not insulated from the conductors;
- insulators connected to live parts;

but excluding other conductors, such as the following:

- along-track feeders;
- earth wires and return conductors.

3.1.3

overhead contact line system

contact line system using an overhead contact line to supply current for use by traction units

3.1.4

overhead contact line

contact line placed above or beside the upper limit of the vehicle gauge, supplying traction units with electrical energy via roof-mounted current collection equipment

3.1.5

conductor rail system

contact line system using a conductor rail for current collection

3.1.6

overhead conductor rail

rigid overhead contact line, of simple or composite section, mounted above or beside the upper limit of the vehicle gauge, supplying traction units with electrical energy via roof-mounted current collection equipment

3.1.7

conductor rail

contact line made of a rigid metallic section or rail, mounted on insulators located near the running rails

3.1.8

supporting assembly

assembly of components attached to the main support structure that supports and registers the overhead contact line

3.1.9

static load gauge

maximum cross-sectional profile of the vehicles using the railway line

3.1.10**kinematic load gauge**

static load gauge enlarged to allow for dynamic movements of the vehicle, e.g. suspension travel and bounce

3.1.11**kinematic envelope**

kinematic load gauge further enlarged to allow for possible tolerances in the position of the track

3.1.12**swept envelope**

kinematic envelope enlarged to allow for centre and end throw of the vehicles on horizontal and vertical curves

3.1.13**tensioning device**

device to maintain the tension of conductors within the system design parameters

3.1.14**urban mass transportation system**

light rail, trolleybus and tramway system, operating in urban areas, excluding heavy rail systems

3.2 Conductors**3.2.1****along-track feeder**

overhead conductor mounted on the same structure as the overhead contact line to supply successive feeding points

3.2.2**reinforcing feeder**

overhead conductor mounted adjacent to the overhead contact line, and directly connected to it at frequent intervals, in order to increase the effective cross-sectional area of the overhead contact line

3.3 Electrical**3.3.1****nominal voltage**

voltage by which an installation or part of an installation is designated

Note 1 to entry: The voltage of the contact line may differ from the nominal voltage by a quantity within permitted tolerances given in IEC 60850.

3.3.2**feeding section**

electrical section of the route fed by individual track feeder circuit breakers within the area supplied by the substation

3.3.3**fault current**

maximum current passed through the overhead contact line system under fault conditions between live equipment and earth, within a short defined time period

3.3.4

short-circuit

accidental or intentional conductive path between two or more points in a circuit forcing the voltages between these points to be relatively low. Any such conductive path whether between conductors or between conductor and earth is regarded as a short-circuit

3.3.5

short-circuit current

electric current flowing through the short-circuit

3.3.6

continuous current rating

permanent rated current carrying capacity of the overhead contact line within the system operating parameters

3.3.7

feeding point

point at which the feeding system is connected to the contact line

3.3.8

isolation

disconnection of a section of overhead contact line from the source of electrical energy, either in an emergency or to facilitate maintenance

3.4 Geometrical

3.4.1

tension length

length of overhead contact line between two terminating points

3.4.2

gradient

ratio of the difference in height of the overhead contact line above top of rail (or road surface for overhead contact line system for trolleybus applications) at two successive supports to the length of the span

3.4.3

contact wire height

distance from the top of the rail (or road surface for overhead contact line system for trolleybus applications) to the lower face of the contact wire, measured perpendicular to the track

3.4.4

minimum contact wire height

minimum value of the contact wire height in the span in order to avoid the arcing between one or more contact wires and the vehicles in all conditions

3.4.5

minimum design contact wire height

theoretical contact wire height including tolerances, designed to ensure that the minimum contact wire height is always achieved

3.4.6

nominal contact wire height

nominal value of the contact wire height at a support in the normal conditions

3.4.7**maximum contact wire height**

maximum possible contact wire height which the pantograph is required to reach, in all conditions

3.4.8**maximum design contact wire height**

theoretical contact wire height taking account of tolerances, movements etc, designed to ensure the maximum contact wire height is not exceeded

3.4.9**contact wire uplift**

vertical upward movement of the contact wire due to the force produced from the pantograph

3.5 Foundations**3.5.1****gravity foundation**

shallow foundation installed by excavation and backfilling

3.5.2**pile foundation**

foundation which is flexible enough to show both rotation and deformations in the pile element itself subjected to horizontal loading or overturning moments. The cross-section may be circular or non-circular and it is installed by boring and/or ramming

3.5.3**sidebearing foundation**

relatively short, rigid foundation installed by excavation or boring which is subjected to horizontal loading or overturning moments. The cross-section may be circular or rectangular

3.6 Structures**3.6.1****drag factor****aerodynamic drag factor****force coefficient**

It is used to consider the shape of a object exposed to wind. The wind pressure is multiplied by this factor to determine the wind action

3.6.2**partial factor****partial safety factor**

It is a factor to multiply characteristic loads to calculate design loads on the load side (load partial factor) of the equation for verifying adequate strength of components or to divide the characteristic strength on the material side (material partial factor). The partial factors should replace the safety factors applied in design approaches used before

Note 1 to entry: The partial factor for an action is a factor, taking into account the possibility of unfavorable deviations from the characteristic value of actions, inaccurate modeling and uncertainties in the assessment of the effects of actions.

Note 2 to entry: The partial factor for a material property is a factor covering unfavorable deviations from the characteristic value of material properties, inaccuracies in applied conversion factors and uncertainties in the geometric properties and the resistance model.

3.7 Symbols and abbreviations

A_{ins} projected area of an insulator

A_K characteristic value of accidental actions

A_{lat}	effective area of the elements of a lattice structure
A_{str}	projected area of a structure
AACSR	Aluminium alloy conductor steel reinforced
ACSR	Aluminium conductor steel reinforced
a.c.	alternating current
C	compression amplitude for dropper test
C_C	drag factor of a conductor
C_{ins}	drag factor for insulators
C_{lat}	drag factor for lattice structures
C_{str}	drag factor of a structure
d.c.	direct current
E_d	total design value of actions
EMI	electromagnetic interference
EMC	electromagnetic compatibility
F_{Bmin}	minimum breaking load of stranded conductors and ropes
F_d	design value of an action
F_K	characteristic value of an action
F_L	internal force for dropper test
F_{max}	maximum or failure force for test specimens
F_{nom}	nominal force
$F_{perm.op.}$	permissible operating force
F_w	permissible tensile loading of stranded conductors and ropes
G_C	structural response factor for conductors
G_{ins}	structural resonance factor for insulator sets
G_K	characteristic value of permanent actions
G_{lat}	structural resonance factor for lattice structures
G_q	gust response factor
G_{str}	structural resonance factor for a structure
G_t	terrain factor
g_{IK}	specific characteristic ice loads
M_{dyy}, M_{dzz}	design bending moments
N_{dax}	internal axial force of an element
n	safety factor for calculating the permissible loading in wires
OCS	overhead contact line system
OCL	overhead contact line
P_{prim}	externally applied heat
Q_{CK}	conductor tensile forces depending on the temperatures and climate related loads
Q_{IK}	characteristic ice load
Q_K	characteristic value of variable actions
Q_{PK}	construction and maintenance loads
Q_W	wind load
Q_{WC}	wind load on conductors
Q_{Wt}	wind load on lattice structures

Q_{Wstr}	wind load on structures
q_K	characteristic dynamic wind pressure
R_{dax}	axial resistance under tension or compression
R_{dyy}, R_{dzz}	design bending resistances
R_k	characteristic value of the foundation ultimate resistance
$R_{p 0,2 \min}$	0,2 % yield point
u	variation in elasticity (also named degree of non-uniformity)
V_c	wave propagation velocity of the contact wire
V_R	reference wind velocity
v_w	wind speed
X_d	design value of a material property
X_K	characteristic value of a material property
α	heat transmission coefficient
Φ	angle of incidence of the critical wind direction
γ_A	partial factor for accidental loads
γ_C	partial factor for conductor tensile forces
γ_{CG}	partial factor for permanent conductor tensile forces
γ_{CV}	partial factor for variable conductor tensile forces
γ_F	partial factor for actions
γ_G	partial factor for permanent actions
γ_I	partial factor for ice loads
γ_M	partial factor for a material property
γ_P	partial factor for construction and maintenance loads
γ_W	partial factor for wind loads
μ_{tot}	coefficient of friction for bolt connections
ρ	density of air
ρ_l	unit weight force of ice
σ_{\min}	minimum failing tensile stress of the contact wire
σ_w	maximum permissible working tensile stress of a contact wire

4 Fundamental design data

4.1 General

The function of an overhead contact line system is not only to transmit energy from fixed installations like substations to the vehicle but also from vehicles back to substations and auxiliary consumers using regenerative braking. In order to fulfil this function the principal features of the contact line system shall be designed in accordance with the requirements set out in this clause. In particular the integration of the overhead contact line design with the corresponding features of other interconnected systems, e.g. the power supply system and the traction system, shall be considered.

The requirements for overhead contact lines shall also apply to masts that are erected in connection with the overhead contact line system and used for feeder lines.

The current collection system is a combination of overhead contact line and pantograph equipment, and the quality of the current collection system depends on the characteristics of both. Both sets of equipment shall be designed to appropriately fulfil their tasks. The design shall take cognisance of the compatibility with the other.

The data listed in 4.2 to 4.7 are normally specified by the purchaser.

4.2 Line characteristics

The train service characteristics and operational requirements to be considered in the design shall include

- the speed and performance capability of the train/traction units to be employed,
- the future performance capability to be anticipated and allowed for in the design, including any allowances for over speeding,
- the type and frequency of electrically hauled trains,
- the line speed for main and station tracks,
- track gradient profile and location of the route; including turnouts and transitions,
- type of turnouts.

4.3 Electrical power system design

The overhead contact line system design shall be based upon the consideration of the electrical characteristics of the power supply system design, including

- nominal voltage and frequency, in accordance with IEC 60850,
- short-circuit current details,
- required current rating,
- required impedance for a.c. systems where stated,
- required resistance for d.c. systems where stated,
- proposed feeding system,
- proposed return system,
- earthing and stray current protection in accordance with IEC 62128-1 and IEC 62128-2,
- requirements to mitigate EMI and facilitate EMC in accordance with IEC 62236-2,
- requirements for over-voltage protection,
- insulation coordination.

For urban mass transportation systems the short-circuit current details are not required.

Overhead contact lines shall be separated in electrical sections and switching groups by insulators, sectioning devices, insulated overlaps, neutral sections, disconnectors for maintenance, emergency repair, planned directional operation, railway tunnel safety and phase breaking.

4.4 Vehicle characteristics

The overhead contact line system design shall consider clearances for all vehicle types to be used on the line. In particular the following shall be determined:

- a) the static and kinematic load gauge, kinematic envelope and the swept envelope as well as any national or international requirements for structural clearances;
- b) the number of pantographs in service, their spacing, and whether they are electrically linked or independent.

4.5 Current collectors

The characteristics of the current collectors to be used on the line shall be determined. These characteristics include

- a) current collector head width, length and profile as defined in IEC 60494-1 and IEC 60494-2,
- b) number of contact strips, the type of material and the spacing,
- c) mean static contact force of current collector, depending on its working height,
- d) details of the lateral movement of the current collector head,
- e) mean contact force at maximum line speed,
- f) working width of the current collector head,
- g) working range and housed height,
- h) controlled height positions,
- i) mathematical model of dynamic characteristics,
- j) skew of current collector head,
- k) number, position on the train and separation of current collectors that may be used simultaneously.

NOTE Specific requirements for pantographs for interoperable lines are given in IEC 62486.

4.6 Environmental conditions

For environmental conditions refer to IEC 62498-2.

4.7 Design life

The purchaser may state the required design life of the system. Consumable components such as contact wire are not included in the design life of the system. Specific requirements for the design life of these components may also be specified by the purchaser.

5 System requirements

5.1 Design of electrical system

5.1.1 General

The overhead contact line system shall be designed to allow for the electrical characteristics defined in 4.2 and 4.3. The design shall include the return circuit and feeder connections and shall consider short-circuit faults.

5.1.2 Temperature rise in conductors

The overhead contact line system shall be designed to allow for the electrical load defined by the system design, including return circuit and feeder connections, under all environmental operating conditions defined in IEC 62498-2.

The maximum temperature rise in the conductors, due to load currents, shall not lead to conductor temperatures at which the mechanical properties of the material are unduly impaired. See also 7.3 and 7.4.

The temperature rise caused by current heating shall be used in addition to the ambient temperature and solar gain in determining the mechanical and dimensional allowances to be made for the maximum expansion of the conductor system, and geometrical allowances for electrical clearance and contact wire height. The design shall accommodate the pantograph current at standstill.

The temperatures above which the mechanical properties might be impaired are given in Table 1 for material compositions of tensile stressed conductors used in contact line systems.

Table 1 – Temperature limits for material mechanical properties

Material	Temperature °C		
	Up to 1 s (short-circuit current)	Up to 30 min (pantograph standstill)	Permanent (operating condition)
Normal and high strength copper with high conductivity	170	120	80
Silver copper alloy	200	150	100
Tin copper alloys	170	130	100
Magnesium copper alloys / bronze (0,2)	170	130	100
Magnesium copper alloys / bronze (0,5)	200	150	100
Aluminium alloys	130	-	80
ACSR / AACSR	160	-	80

For new products it can be necessary to lower the values until enough operational experiences are collected.

For higher temperatures than those in Table 1, the possible reduction in conductor strength according to the duration of the raised temperature shall be checked and, if necessary, the dimensions of the conductor shall be increased.

NOTE There have been long satisfactory experiences in Japan that the highest permanent temperature of copper, aluminium and ACSR wires is 90 °C.

When calculating the temperature rise in a conductor the following contributions should be considered:

- the heating caused by the current;
- the heating caused by the environmental conditions;
- the radiant heat emitted from the conductor;
- the heat lost from the conductor by convection depending on the wind speed.

The values of the environmental parameters (ambient temperature, wind speed and temperature rise caused by solar gain) shall be given in the purchaser specification.

The temperature of the contact wire at the interface with the contact strips shall not exceed the appropriate value given in Table 1.

5.1.3 Clearances between live parts of contact lines and earth

The recommended air clearances between earth and the live parts of the overhead contact line system are stated in Table 2.

Table 2 – Electrical clearances

Nominal voltage	Recommended minimum clearances mm	
	Static	Dynamic
d.c. 600 V (720 V) ^a	100	50
d.c. 750 V (900 V)	100	50
d.c. 1,5 kV (1,8 kV)	100	50
d.c. 3,0 kV (3,6 kV)	150	50
a.c. 15 kV (17,25 kV)	150	100
a.c. 20 kV (24 kV)	250	150
a.c. 25 kV (27,5 kV)	270	150
a.c. 25 kV (30 kV)	300	150 ^b
^a Only for existing systems. ^b The value is 300 mm in Japan. Values in brackets are highest permanent voltage.		

Different clearances for “static” and “dynamic” cases are justifiable by probabilistic determinations (probability or time for example). For example, it is improbable that an over-voltage surge will occur at the same moment that a pantograph passes a narrow part of a tunnel. For this “dynamic” or temporary case, the use of a dynamic clearance is justified.

For section insulators, it is allowed to reduce the static values of recommended clearance in Table 2 to ensure acceptable dynamic performance of the pantograph and overhead contact line system.

The lower static values for section insulators shall be not less than;

- 50 mm up to 3 kV,
- 100 mm for 15 kV,
- 150 mm for 25 kV.

Higher values for section insulators may be specified by National Regulations.

The clearance values given in Table 2 may be reduced or increased depending on various parameters, e.g. highest permanent voltage, thunderstorm conditions, absolute humidity, the ambient temperature range, air pressure, pollution, relative air density, shape and material for both energised and earthed structures (refer to IEC 62498-2). Each case, however, shall be considered individually.

The clearance values given in Table 2 should also be applied for clearances between adjacent live parts of contact lines of different electrical sections of the same voltage and phase.

In areas where over-voltage can occur very often due to lightning, surge arrestors or other means should be used if the electrical clearances to earthed structures are not sufficient to avoid flashovers.

5.1.4 Clearances between adjacent live a.c. contact lines of differing voltage phases

For an overhead contact line system, there may be a phase difference between different parts of the system, resulting in a phase-to-phase voltage higher than the nominal voltage. For 15 kV and 25 kV autotransformer systems, there is a phase difference of 180° between all live parts connected to the feeder line and all live parts connected to the overhead contact line.

For single phase a.c. systems, the phase difference between 90° and 180° at neutral section locations results in a similar effect.

Table 3 provides recommendations for the air clearance which should be achieved between live parts of an a.c. contact line system of differing phases.

Table 3 – Clearance between differing phases

Nominal voltage kV	Phase difference degrees	Relative voltage kV	Recommended minimum clearance	
			Static mm	Dynamic mm
15 (17,25)	120	26	260	175
15 (17,25)	180	30	300	200
20 (24)	90	28,2	300	200
20 (24)	120	34,6	300	200
25 (27,5)	120	43,3	400	230
25 (27,5)	180	50	540	300
25 (30)	90	35,3	500	350
25 (30)	120	43,3	500	350

Values in brackets are highest permanent voltage.

When a pantograph passes the overlap of a phase separation section, a phase to phase voltage acts between both contact lines for a short period. Therefore, the clearances between both contact lines shall be selected in accordance with the dynamic clearances set out in Table 3. These clearances shall be maintained at all times.

5.2 Design of current collection systems

5.2.1 General

The design of both the overhead contact line system and pantograph shall take into account the required relevant speed.

The performance of the overhead contact line and pantograph should consider geometric and static characteristics. Dynamic behaviour can be predicted in the design phase by computer simulation and verified on the installed overhead contact line system with measurements. In Europe, the simulation programs shall be validated in accordance with EN 50318 and the measurements shall be undertaken in accordance with EN 50317. For non-European countries EN 50317 and EN 50318 are informative and should be used unless certain national standards are determined by the purchaser in priority.

For a train with multiple pantographs, the performance of each pantograph both separately and with the pantographs used collectively shall be assessed.

For systems with speeds under 100 km/h, the dynamic behaviour need not be considered.

NOTE Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead contact line to achieve free access to rail infrastructure are given in IEC 62486.

5.2.2 Elasticity and its variation

The overhead contact line should be designed in such a way that there is a small variation, u , of the elasticity, e . The elasticity e , expressed in millimetres by Newton (mm/N), is the uplift divided by the force measured at the contact wire. In every span there is a maximum and a

minimum elasticity. The elasticity values are static values. These values describe the variation u :

$$u = \frac{e_{\max} - e_{\min}}{e_{\max} + e_{\min}} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

NOTE 1 The value u is also named 'degree of non-uniformity'.

NOTE 2 Low values of elasticity do not always give a small variation.

The elasticity and its variation depend upon the configuration of the overhead contact line. For the overhead contact system the following main factors shall be taken into account:

- number of contact and catenary wires;
- tension of contact and catenary wires;
- span length;
- use of stitch wires;
- type of support;
- type, number and the position of droppers.

If dynamic simulations are not undertaken, elasticity and variation may be specified by the purchaser.

The elasticity should normally be calculated with a value of force equal to either the mean contact force at maximum speed or double the static contact force. Information about reasonable values is given in the informative Annex D.

5.2.3 Vertical movement of contact point

The contact point is the point of the mechanical contact between a contact strip and a contact wire.

The overhead contact line shall be designed in such a way that the vertical height of the contact point above the track is as uniform as possible along the span length; this is essential for high-quality current collection.

The maximum permissible difference between the highest and the lowest dynamic contact point height within one span shall be as specified by the purchaser.

This shall be verified by measurements or simulations. The verification shall include the maximum line speed allowed by the overhead contact line, considering the mean contact force and the longest span length.

This needs not be verified for overlap spans or for spans over. Considerations should be taken to the contact wire uplift above switches and overlaps.

5.2.4 Wave propagation velocity

Waves caused by pantograph forces on the contact wire(s) have a propagation velocity. The overhead contact line should be designed to ensure that the maximum operational speed of the line is less than 70 % of the wave propagation velocity, V_c of the contact wire.

$$V_c = \sqrt{\frac{\sum z}{\sum m}} \quad (2)$$

where

V_c is in m/s;

$\sum z$ is the sum of the working tensile loads of contact wire(s) in N;

$\sum m$ is the sum of the linear mass of the contact wire(s) in kg/m.

For urban mass transportation systems the calculation of the wave propagation velocity may be omitted.

5.2.5 Quality of current collection

5.2.5.1 General

Pantographs and overhead contact lines shall be designed and installed to ensure acceptable current collection performance at all operating speeds and whilst at standstill.

The life cycle of the contact strips and contact wires essentially depends on

- dynamic behaviour of the overhead contact line and the pantograph,
- current flow,
- contact areas and the number of contact strips,
- material of contact strips and contact wire,
- speed of the train, the number of pantographs in operation and the distances between them,
- geometry of the contact line,
- environmental conditions,
- elasticity and their uniformity,
- contact wire tensile load,
- pantograph design and contact force.

5.2.5.2 Contact forces

Overhead contact line equipment shall be designed to accept maximum permissible contact forces between the pantograph and the contact wire. The aerodynamic effects which occur at the maximum permissible speed of the vehicle shall be taken into account.

The minimum contact force shall be positive to ensure that there is no loss of contact between the pantograph and the overhead contact line.

In the case of using multiple pantographs connected by bus line, it is allowable to have the short term contact loss. Assessment of conformity shall be decided between client and supplier.

Force values vary with different combinations of pantographs and overhead contact systems. The simulated or measured values of contact forces between the contact wire and contact strip shall not exceed the range given in Table 4.

Where contact forces are used to define the current collection, the mean value and standard deviation of contact force shall be the criteria for current collection quality.

The mean contact force plus three standard deviations shall be equal to or smaller than the maximum value in Table 4. The mean contact force minus three standard deviations shall be positive.

Table 4 – Contact force

System	Speed km/h	Contact force	
		Maximum N	Minimum N
a.c.	≤ 200	300	> 0
a.c.	> 200	350	> 0
d.c.	≤ 200	300	> 0
d.c.	> 200	400	> 0

For rigid components such as section insulators in overhead contact line systems up to 200 km/h the contact force can increase up to a maximum of 350 N.

For urban mass transportation systems the dynamic behaviour needs not be considered. In this case the static contact force shall be at least 60 N. For trolleybus systems the values are specified in 5.13.5.

NOTE Requirements for contact forces for interoperable lines are given in IEC 62486.

5.2.5.3 Loss of contact

A high quality of current collection is achieved through continuous mechanical contact between the contact wire and contact strip. If this contact is interrupted, arcing occurs which increases wear on the contact wire and contact strip.

Where loss of contact is used to define the current collection, the frequency and duration of arcing shall be the criteria for the current collection quality. Where these criteria are used, parameters and assessment of tests shall be selected in accordance with the purchaser specification. This is applicable in case of using multiple pantographs connected by bus line also.

NOTE Requirements for interoperable lines are given in IEC 62486.

5.2.5.4 Fatigue of contact wire

When pantograph slides on contact wire, bending stress grows in the wire. As train speed becomes higher and more pantographs passing by, bending stress would be larger, and life of the wire by fatigue in special cases can become shorter than the life of wear. In overhead contact line design, consideration can be given to the bending stress of contact wire.

5.3 Mechanical design of contact wire loads

5.3.1 Permissible tensile stress σ_w

The maximum permissible working tensile stress σ_w of a contact wire depends on the parameters defined in 5.3.2 to 5.3.7. All of these parameters shall be weighted with an individual factor. The minimum tensile failing stress σ_{min} of the contact wire shall be multiplied by the product of these factors and a safety factor n not greater than 0,65 to get the maximum permissible working tensile stress.

The values in Table 5 and Table 7 may be interpolated.

The maximum permissible working tensile stress to be applied to unworn contact wire shall be determined using the following equation:

$$\sigma_w = \sigma_{\min} \times n \times K_{\text{temp}} \times K_{\text{wear}} \times K_{\text{icewind}} \times K_{\text{eff}} \times K_{\text{clamp}} \times K_{\text{joint}} \quad (3)$$

This formula gives the minimum requirements which can be increased by national regulations.

5.3.2 Maximum temperature K_{temp}

The tensile strength and creep behaviour of contact wires depend on the maximum working temperature. The factor K_{temp} expresses the relationship between the permissible tensile stress and the maximum working temperature of a contact wire and is given in Table 5.

Table 5 – Factor K_{temp} for contact wires

Contact wire material	K_{temp}	
	For max. temperature ≤ 80 °C	For max. temperature = 100 °C
Cu	1,0	0,8
Cu-Ag 0,1	1,0	1,0
Cu-Sn	1,0	1,0
Cu-Mg	1,0	1,0

For new products it can be necessary to lower the values until enough operational experiences are collected.

For maximum working temperatures above 100 °C the reduction of conductor strength over the life of the wire shall be determined by type tests. The factor K_{temp} shall be adjusted according to the residual strength of the wire.

Notwithstanding the requirements of the permitted tensile stress, consideration should also be given to the properties of the contact wire material with respect to resistance to creep. To achieve this resistance to creep, a lower permissible tensile stress and/or working temperature should be adopted.

5.3.3 Allowable wear K_{wear}

Provision shall be made for allowable wear by applying a factor appropriate to the permissible wear.

$$K_{\text{wear}} = 1 - x \quad (4)$$

where

x is the permissible wear in percent / 100.

5.3.4 Wind and ice loads K_{icewind}

The effect of wind and ice loads on maximum contact wire tensile strength depends on the design of overhead contact lines. The factor K_{icewind} depends on the wind and ice loads and the type of the overhead contact line and is set out in Table 6.

Table 6 – Factor K_{icewind} for contact wires

Type of overhead contact line	Wind and ice load	Wind load
Contact and catenary wire automatically tensioned	0,95	1,00
Contact wire automatically tensioned and catenary wire fixed termination	0,90	0,95
Single contact wire automatically tensioned	0,90	0,95

Contact and catenary wire fixed termination	0,70	0,80
---	------	------

5.3.5 Efficiency of tensioning devices K_{eff}

The efficiency of tensioning devices is considered by the factor K_{eff} . For the normal design and installation of tensioning devices, K_{eff} is assumed to be equal to the efficiency specified and proven by the supplier.

Where fixed terminations are used, K_{eff} shall be equal to 1,0.

5.3.6 Termination fittings K_{clamp}

The effect of termination fittings is considered by the factor K_{clamp} which shall be equal to 1,00 if the clamping force is equal to or greater than 95 % of the contact wire tensile strength. Otherwise, K_{clamp} shall be equal to the ratio of the clamping force to the tensile strength.

5.3.7 Joints K_{joint}

The effect of joints is considered by the factor K_{joint} . This shall be equal to 1,00 if no joints are adopted or if the values of tensile strength and the percentage elongation after fracture at a joint area are in accordance with the specified values of the wire material. Otherwise, K_{joint} shall be equal to the ratio of the tensile strength of joints to the higher calculated rated tensile strength of contact wire. The minimum tensile strength of the joint shall be in accordance with EN 50149 in Europe.

5.4 Mechanical design of catenary wire loads

5.4.1 Permissible tensile loading F_w

The maximum permissible working tensile load of catenary wire depends on the parameters defined in 5.4.2 to 5.4.7. All of these parameters shall be weighted with an individual factor. The minimum breaking load F_{Bmin} of the catenary wire shall be multiplied by the product of these factors and a factor n not greater than 0,65 to get the maximum permissible working tensile load.

The maximum permissible working tensile load shall be determined from:

$$F_w = F_{\text{Bmin}} \times n \times K_{\text{temp}} \times K_{\text{wind}} \times K_{\text{ice}} \times K_{\text{eff}} \times K_{\text{clamp}} \times K_{\text{load}} \quad (5)$$

This formula gives the minimum requirements which can be increased by national regulations.

5.4.2 Maximum temperature K_{temp}

The factor K_{temp} is assumed to 1,0 as long as the maximum working temperature does not exceed the values in Table 1. At higher working temperatures, the factor shall be reduced in accordance with the possible reduction in percent of the tensile strength.

Table 7 – Factor K_{temp} for stranded conductors

Stranded wire type	K_{temp}	
	For max. temperature ≤ 80 °C	For max. temperature = 100 °C
Cu	1,0	0,8
Al-alloy	1,0	0,8
Cu Ag	1,0	1,0
Cu-Sn 0,4	1,0	1,0

Cu-Mg / Steel	1,0	1,0
ACSR / AACSR	1,0	0,8

For new products it can be necessary to lower the values until enough operational experiences are collected.

For maximum working temperatures above 100 °C the reduction of conductor strength over the life of the wire shall be determined by type tests. The factor K_{temp} shall be adjusted according to the residual strength of the wire as shown in Table 7.

5.4.3 Wind loads K_{wind}

Wind load is defined by a factor K_{wind} which depends on the wind speed as defined in Table 8.

Table 8 – Factor K_{wind} for stranded conductors

Type of termination	K_{wind}	
	Wind speed ≤ 100 km/h	Wind speed > 100 km/h
Automatically tensioned	1,00	0,95
Fixed termination	0,95	0,90

5.4.4 Ice loads K_{ice}

The effect of ice loads shall be considered when determining the maximum working load of the stranded wire. The factor K_{ice} depends on the type of termination as specified in Table 9.

Table 9 – Factor K_{ice} for stranded conductors

Type of termination	K_{ice}
Automatically tensioned	1,00
Fixed termination	0,95

5.4.5 Automatic tensioning accuracy and efficiency K_{eff}

Automatic tensioning accuracy and efficiency is considered by the factor K_{eff} . For the normal design and installation of tensioning devices, K_{eff} shall be equal to the efficiency specified and proven by the supplier.

Where fixed terminations are used, K_{eff} shall be equal to 1,0.

5.4.6 Termination fittings K_{clamp}

The effect of termination fittings is considered by the factor K_{clamp} which shall be equal to 1,00 if the clamping force is equal to or more than 95 % of the calculated rated tensile strength (RTS). Otherwise K_{clamp} shall be equal to the ratio of the clamping force to RTS.

5.4.7 Additional vertical load K_{load}

The effect of vertical loads acting on catenaries is considered by the factor K_{load} equal to 0,8. For catenary wires without loads acting the factor K_{load} shall be equal to 1,0.

Dropper loads are not included in consideration of the factor K_{load} .

5.5 Mechanical design of other stranded conductors

For stranded conductors, other than catenary wires, the requirements of 5.4.1 to 5.4.7 shall only apply if the working load exceeds 40 % of the calculated breaking load of the stranded conductor.

For calculation of the working loads the load cases according clause 6.3.1 should be considered.

5.6 Mechanical design of solid wires

Solid wires in overhead contact line systems other than contact wires shall not be loaded over 40 % of the minimum breaking load.

5.7 Mechanical design of ropes of non-conducting materials

5.7.1 General

Ropes formed from non-conducting materials may be used only up to their calculated working load. Particular attention shall be given to shearing loads, bending radius, termination arrangement and elongation. These requirements apply to ropes which are made from synthetic fibres and have an external synthetic sheath to protect the fibres. Refer to EN 50345 in Europe for further details.

5.7.2 Permissible tensile loading F_w

The permissible tensile load of a rope shall be weighted with an individual factor (refer to 5.7.3 to 5.7.7). The minimum breaking load F_{Bmin} of the combined fibres shall be multiplied by the product of these factors and a factor n not greater than 0,45 to get the maximum permissible working tensile load.

The maximum permissible working tensile load shall be determined from

$$F_w = F_{Bmin} \times n \times K_{wind} \times K_{ice} \times K_{clamp} \times K_{load} \times K_{radius} \quad (6)$$

This formula gives the minimum requirements which can be increased by national regulations.

5.7.3 Wind loads K_{wind}

Wind load is considered by the factor K_{wind} depending on the wind speed:

$$K_{wind} = 1,00 \text{ for wind speed } \leq 100 \text{ km/h;}$$

$$K_{wind} = 0,90 \text{ for wind speed } > 100 \text{ km/h.}$$

5.7.4 Ice loads K_{ice}

The effects of ice loads shall be taken into consideration:

$$K_{ice} = 0,95.$$

5.7.5 Termination clamps K_{clamp}

The effect of termination fittings shall be considered by the factor K_{clamp} :

$$K_{clamp} = 1,00 \text{ for cone end termination fittings;}$$

$$K_{clamp} = 0,80 \text{ for other kinds.}$$

5.7.6 Vertical loads K_{load}

The effect of vertical loading shall be considered using the factor K_{load} :

$K_{load} = 0,7$ when vertical loads attached;

$K_{load} = 1,0$ without loads attached.

Examples of vertical loads to be considered are direction indicators or feeding cables for traffic lights or for the overhead contact line.

5.7.7 Minimum bending radius K_{radius}

The effect of the radius on the ropes shall be considered by the factor K_{radius} according to Table 10.

Table 10 – Factor K_{radius} for ropes of non-conducting materials

Bending radius r m	K_{radius}
$r \geq 1$	1
$0,5 \leq r < 1$	0,9
$0,2 \leq r < 0,5$	0,8
$0,1 \leq r < 0,2$	0,7
$r < 0,1$	0,5

5.8 Suspension systems

Automatically tensioned equipment shall be suspended from supports which allow longitudinal movement. Fixed termination equipment may be supported from fixed supports. Where line speeds are greater than 100 km/h or where high operational currents demand it, a catenary wire type suspension should be used. When overhead contact rails are used, no catenary suspensions are necessary.

5.9 Tensioning systems

The tensions in the contact and catenary wires shall be maintained within the system design parameters. To ensure satisfactory current collection for speeds above 100 km/h, the contact wires shall be automatically tensioned. The catenary wires shall also be automatically tensioned when the system parameters demand it.

For speeds above 225 km/h both catenary and contact wires shall be automatically tensioned separately.

According to special conditions in Japan there it is possible to use for more than 225 km/h only one tensioning equipment for all wires if tension of each wire can be kept properly.

For automatically tensioned equipment, local tension in the overhead contact line can vary, due to the effect of along track movement of registration arms or cantilever frames. The maximum acceptable variation of tension in the overhead contact line shall be considered.

5.10 Geometry of overhead equipment

5.10.1 Horizontal deflection of contact wire

Under defined environmental conditions and mechanical tolerances, the horizontal deflection of the contact wire and the pantograph shall be such that it is not possible for the contact wire to slide off the pantograph head unless specifically designed to do so at contact wire takeover

points. A minimum stagger value shall be specified for each project, in order to maintain adequate mechanical clearances and to minimise wear of contact wire and pantograph strip. Under normal operational conditions, the contact wire shall be contained within the pantograph working width.

Wind force on conductors shall be assessed and the resulting maximum across track deflection determined in either direction. Assessment of the wind force on individual conductors shall be in accordance with the serviceability requirements of 6.2.4.1, and the maximum wind speed in operational conditions for individual spans, or applying special national conditions where applicable.

For calculation of deflection of the contact wire, wind forces shall be applied to the contact and catenary wires. Dropper wires may also be considered.

The resulting contact wire movement, together with the structure deflection, shall result in contact wire deviation within the maximum values permitted by the system design when added to the contact wire stagger in still air at any point along track.

Mechanical and electrical clearances of conductors to other parts of the railway infrastructure, when subject to wind, shall similarly be verified.

5.10.2 Uplift

The design uplift of the contact wire at the support, for the maximum span length under normal operating conditions, shall be determined or evaluated by calculation, simulation or measurement. The space for free and unrestricted uplift of the contact wire at the support shall be a minimum of twice the design uplift. If restrictions to uplift of the contact wire are included in the design, a figure not lower than 1,5 shall be used.

5.10.3 Variation in contact wire height

If, due to local conditions, e.g. bridges, a variation in contact wire height is necessary, this shall be achieved with as small a gradient as possible. Design values for gradient and changes of gradient shall not exceed the values set out in Table 11 as a function of speed.

Table 11 – Contact wire gradients

Speed up to km/h	Maximum gradient		Maximum change of gradient	
		‰		‰
50	1/40	25	1/40	25
60	1/50	20	1/100	10
100	1/167	6	1/333	3
120	1/250	4	1/500	2
160	1/300	3,3	1/600	1,7
200	1/500	2	1/1 000	1
250	1/1 000	1	1/2 000	0,5
> 250	0	0	0	0

5.10.4 Minimum contact wire height

The minimum contact wire height shall always be greater than the swept envelope, also taking into consideration the electrical clearance in air and the minimum working height of the pantograph, to avoid arcing between the contact wire and the earthed parts of vehicles.

See Figure 1 for the relationship between contact wire heights and pantograph working heights.

5.10.5 Minimum design contact wire height

The minimum design contact wire height shall be calculated by adding all downwards movements of the contact wire to the minimum height. Consideration shall be given to

- vertical tolerance on the track position,
- downwards installation tolerance for the contact wire,
- downwards dynamic movements of the contact wire,
- effects of ice load and temperature on the conductors.

5.10.6 Nominal contact wire height

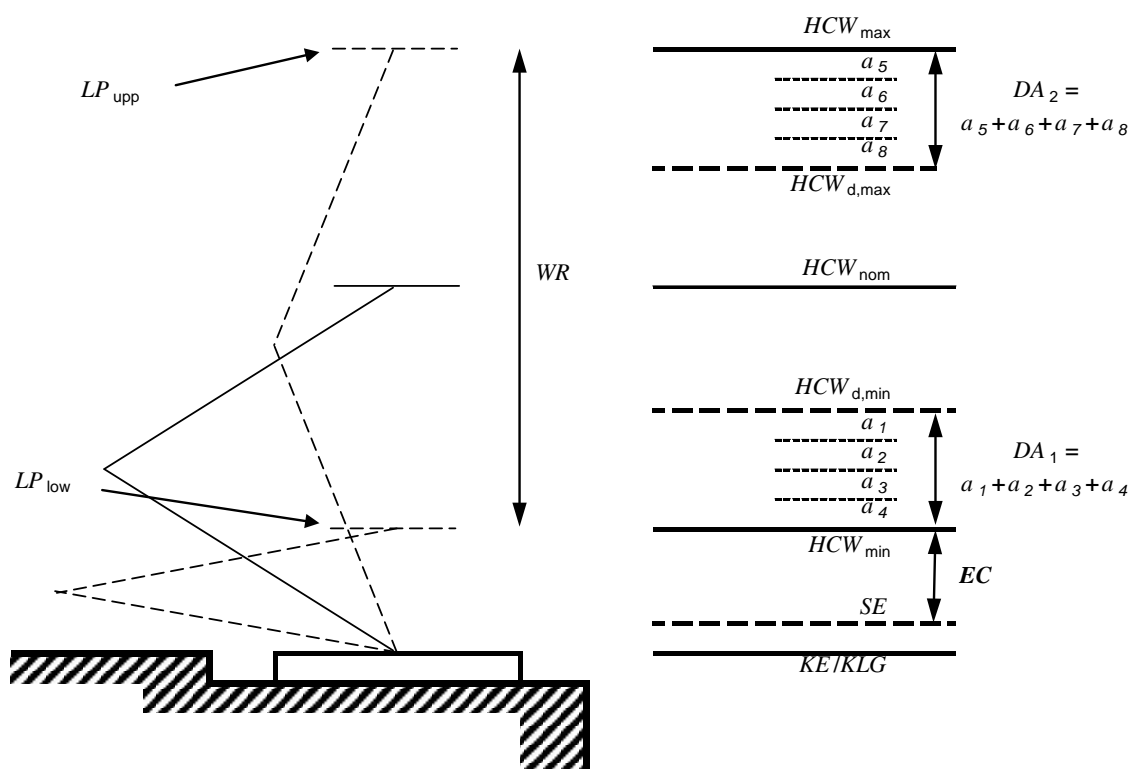
It is permissible to set the nominal height for an overhead contact line in the range between the minimum and the maximum design heights of the contact wire.

NOTE Specific requirements for contact wire heights for interoperable lines are given in IEC 62486.

5.10.7 Maximum design contact wire height

The maximum design contact wire height shall be obtained by deducting from the maximum working height of the pantograph the possible upwards movements of the contact wire. Consideration shall be given to

- vertical tolerance of the track,
- uplift of the contact wire by the pantograph,
- upwards dynamic movement of the contact wire,
- upwards installation tolerance,
- uplift of the contact wire due to wear,
- uplift of the contact wire due to any effect of temperature changes in the conductors.



Key

LP_{upp}	upper operating position of pantograph or collector (see IEC 60494-1)
LP_{low}	lower operating position of pantograph or collector (see IEC 60494-1)
WR	working range of pantograph or collector (see IEC 60494-1)
KE/KLG	kinematic envelope / kinematic load gauge height
SE	swept envelope height
EC	electrical clearances
HCW_{min}	minimum contact wire height
HCW_{max}	maximum contact wire height
$HCW_{\text{d,min}}$	minimum design contact wire height
$HCW_{\text{d,max}}$	maximum design contact wire height
HCW_{nom}	nominal contact wire height
DA_1	design allowances above HCW_{min}
	a_1 vertical tolerance of the track (if not included in envelope / gauge)
	a_2 downwards installation tolerance for the contact wire
	a_3 downwards dynamic movements of the contact wire
	a_4 effects of ice load and temperature on conductors
DA_2	design allowances below HCW_{max}
	a_5 vertical tolerance of the track
	a_6 uplift of the contact wire by the pantograph and dynamic movement of the contact wire
	a_7 upwards installation tolerance for the contact wire
	a_8 uplift of the contact wire due to wear and any temperature changes in the conductors

Figure 1 – Relationship between contact wire heights and pantograph operating position

5.11 Contact line arrangement above turnouts and crossings

Contact lines above turnouts and track crossings shall be designed such that they can be traversed in all planned directions at the planned speeds whilst still meeting the requirements of the permissible range of contact forces (Table 4).

The design of crossing points and the configuration and geometry of tangential contact lines shall ensure that no contact wire is able to slip below the pantograph contact strips. The sway and skew of the pantograph shall be considered as well as contact wire uplift and lateral deflection due to wind. At the point where the incoming contact wire touches the pantograph head, both contact wires shall be placed on the same side of the pantograph head related to its central axis.

Suitable remedies, e.g. cross contact bars and cross droppers, shall be employed to guarantee that both contact wires are lifted when being traversed by a pantograph. The temperature-related longitudinal expansions of contact wires shall be considered when adopting such remedies.

To avoid the use of cross-contacts alternative equipment arrangements may be used to prevent the effects of a significant dynamic uplift of the pantograph.

5.12 Overlap arrangements

Overlaps shall enable the pantograph to pass from one tension length to the next without speed reduction or interruption of the power supply to the traction unit. The number and lengths of spans including the differences in the length of adjacent spans and the contact wire gradients within overlaps shall be designed such that the permissible range of contact forces and the permissible differences in elasticity are met. The maximum running speeds and track radii need to be taken into account.

For overlaps in automatically tensioned equipment, the supports of both contact line equipments shall enable the unrestricted movement of the contact line due to the temperature related longitudinal expansion.

For insulated overlaps the minimum dynamic electrical clearance of parallel conductors shall, under the specified environmental conditions, be maintained. The required static electric clearance in air shall be met.

Uninsulated overlaps should be permanently connected by a jumper. Insulated overlaps should be connected, during operational conditions, by a disconnect or via a substation.

5.13 Specific requirements for overhead contact lines for trolleybus systems

5.13.1 General

The typical characteristic of an overhead contact line system for trolleybus applications is twin contact wires that are electrically separate.

The function of an overhead contact line for trolleybus applications is to transmit energy from electric substations to the trolleybus units and return it, all under the necessary protection conditions. In order to fulfil this function, the electrical system, made of cable and feeding/return wire, shall be designed in accordance with the requirements set out in 5.13.2 to 5.13.6.

5.13.2 Line characteristics

The trolleybus service characteristics and operational requirements should be taken from National Standards.

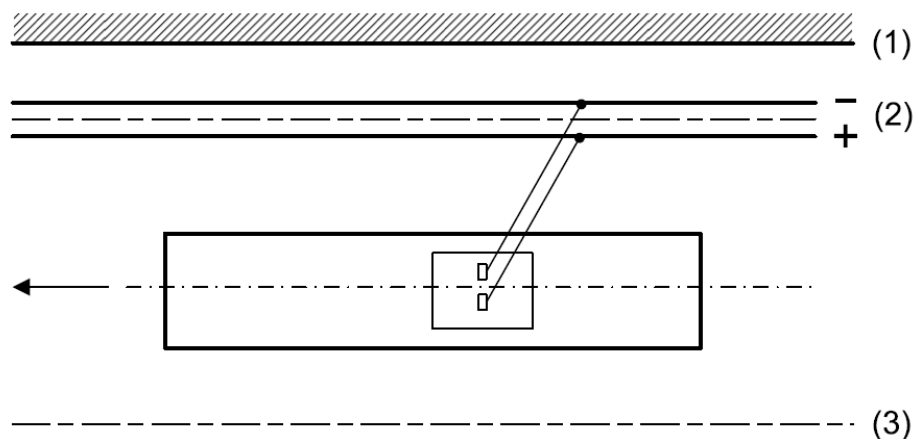
Consideration also shall be given to the environmental operating conditions and the urban area in which the overhead contact line will be installed, with particular attention being given to any national requirements for structural clearances.

The trolleybus characteristics and operational requirements include:

- right-of-way types: the types of road or rail alignments (e.g., street, reserved, grade-separated, etc.) commonly used for each different mode,
- average speed: the average origin-to-destination speed for each mode in revenue service. This includes time spent at station stops, in traffic and due to other delays,
- maximum speed: the top speed the vehicle is capable of reaching on a straight, level right-of-way way with no curves, gradients, stops, traffic signals or other delays,
- right-of-way dimensions: the width and height of right-of-way needed to accommodate the vehicle in dynamic mode according to modern standards of safe operation,
- minimum curves: the tightest curves that may be used for a given transit mode, measured as the radius of the curve to the centre line of the transit vehicle,
- road surface gradients: the steepest gradients that may be used for a given transit mode without compromising reliability or safety of operations.

The distance between the feeding and return contact wires shall be either 0,60 m or 0,70 m, with a maximum tolerance of ± 15 mm.

If one pole of the d.c. system is earthed or connected to the return circuit of a tram or light rail system the contact wire of this pole shall be mounted on the outside of the right-of-way (see Figure 2).



IEC 257/13

Key

- 1 limit of the carriageway
- 2 overhead contact line: (-) return wire
(+) feeding wire
- 3 axis of right of way

Figure 2 – Position of return wire in relation to right-of-way

The assemblies of an overhead contact line (wires, suspension, switches and crossing) shall be so positioned as to allow

- a regular vehicle circulation along the route,
- a correct approach to platform stops,
- overtaking of another vehicle of the maximum admissible dimensions for road vehicles.

5.13.3 Vehicle characteristics

The following characteristics shall be determined and incorporated into the system design:

- nominal voltage of the overhead contact line;
- type of trolleybus and road characteristics;
- maximum and minimum road gradient of the route;
- maximum and permanent current of the vehicle;
- type of traction (by resistance, chopper, inverter, etc.);
- type of braking (by resistance, energy saving, etc.);
- environmental characteristics of the vehicle;
- trolleybus horizontal displacement from overhead contact line.

5.13.4 Current collector system

In particular, the following information shall be considered for the current collector:

- current collector dimension and type;
- construction characteristics of the current collector and all equipment that comprises the overhead contact line, such as switching and crossing points;
- static contact force between the current collector and contact wire;
- range of the contact forces related to the dynamic movement of the vehicle and variation of the height of the overhead contact line;
- type of contact line.

NOTE CLC/TS 50502 provides information regarding safety requirements and connection systems for electric equipment in trolley buses in Europe.

5.13.5 Static contact forces

The range of static contact force applied to feeding and return wires shall be between 70 N and 120 N for each wire.

5.13.6 Trolleybus in the vicinity of tramways

It is typical, especially for an urban area, that trolleybus and trams run under the same supporting system. In this case, the overhead contact lines for both systems are supported by the same suspension.

The distance between the contact wires for trolleybus and tramways shall not be less than the distance between the feeding and return wires.

In any case the following shall be determined and incorporated into the system design:

- the static and kinematic load gauge of the trolleybus and tram;
- the distance between the return wire and the tramways overhead contact line is at least the distance between the feeder and return contact wires of the trolleybus overhead contact line.

Overhead contact lines for trolleybuses and tramways are generally supplied by separate feeding sections to facilitate maintenance activities.

5.14 Tolerances and limits

Parameters which are capable of being influenced by construction shall be limited by tolerances and limits. Tolerances and limits depend on the type of contact line and shall be defined in accordance with the requirements on safety, quality of current collection, compatibility to interfaces and aesthetic aspects. The interdependencies between the individual values shall be considered as well as the relationship between the tolerances and limits and external effects like climate, pantograph design and power supply.

For parameters which are capable of changing during operation, and so influence the system performance, e.g. due to the shift of track position, operational limits shall be additionally defined. The relationship between the tolerances and limits for construction and the limits for operation shall consider the possible changes of parameters over time between inspection and maintenance periods.

The tolerances and limits shall be implemented in the design (see e.g. 6.4.5) and kept during construction and operation.

Table 12 shows examples of the parameters for which tolerances and limits should be defined. The types of parameters are divided in four main groups in the order of their importance to the system. In each main group, examples of parameters for tolerances and limits are given in relation to construction and/or operation. The specific values shall be defined by the system designer.

Table 12 – Important parameters to assist in the definition of tolerances and limits

Type of parameter	Tolerances	Limits	To be defined for:	
			Construction	Operation
Type A, safety related				
dimension of foundations, position of foundations perpendicular to track, rotation angle of masts, contact wire stagger	X		X	
safety clearance, electrical clearances, contact wire height (minimum/maximum), maximum deviation of contact wire due to wind, maximum contact wire wear		X	X	X
Type B, related to quality of current collection				
system height, distance between droppers, position of foundations along the track	X		X	
inclination of droppers along the track, maximum/minimum contact forces, variation of elasticity (u)		X	X	X
contact wire gradient, change of gradients, inclination of droppers perpendicular to track		X	X	
Type C, compatibility related				
geometrical tolerances of component interfaces	X		X	
Type D, aesthetics related				
mast height	X		X	
inclination of poles, inclination of horizontal cantilever tubes		X	X	

Refer to Annex E for special national conditions requirements.

6 Structures

6.1 Basis of design

6.1.1 General

Structures for overhead contact lines may be designed in accordance with the general principles contained in 6.1.2 to 6.1.6, or refer to the international standards or national standards or as described in EN 1990:2002 for Europe.

6.1.2 Basic requirements

Structures for overhead contact line shall be designed and constructed in such a way that during their intended life

- they will perform their purpose under a defined set of conditions with acceptable levels of reliability and in an economic manner. This refers to aspects of reliability requirements,
- they will not be liable to progressive collapse if a failure is triggered in a defined component. This refers to aspects of security requirements,
- they will not be liable to cause human injuries or loss of life during construction, operation, and maintenance. This refers to aspects of safety requirements.

An overhead contact line shall also be designed, constructed and maintained in such a way that due regard is given to safety of the public, durability, robustness, maintainability and environmental considerations.

The above requirements shall be met by the choice of suitable materials, by appropriate design and detailing, and by specifying control procedures for design, production, construction and use relevant to the particular project.

6.1.3 Design with regard to structural limits

Generally, a distinction is made between ultimate limit state and serviceability limit.

Ultimate limit states are those associated with collapse or with other similar types of structural failure due to excessive deformation, loss of stability, overturning, rupture, buckling, etc. Ultimate limit states concern the reliability and security of supports, foundations, conductors and equipment as well as the safety of people.

Serviceability limit states correspond to certain defined conditions beyond which specified service requirements for an overhead contact line are no longer met. Serviceability requirements concern the mechanical functioning of supports, foundations, conductors and equipment and the unrestricted transmission of electric energy to the vehicles.

Therefore, serviceability limits require consideration of deformations and displacements which affect the use of the overhead contact line and any damage which is likely to affect the durability or function of the supports and equipment adversely.

Serviceability limits may be given in the purchaser specification.

Design with reference to ultimate limit state and serviceability limit states shall be carried out by:

- setting up structural and load models for relevant ultimate and serviceability limits to be considered in the various design conditions and load cases,
- design values which are generally obtained by using characteristic values as defined in this Standard in conjunction with partial factors as defined
 - in this Standard,
 - in ISO 10721 (all parts) and ISO 23469:2005,
 - in EN 1992 (all parts), EN 1993 (all parts), EN 1995 (all parts), EN 1997 (all parts), EN 1998 (all parts) and EN 1999 (all parts) for Europe,
 - in purchaser specifications,
- verifying that the limits are not exceeded when design values for actions, material properties and geometrical data are used in the model,
- reference to Eurocodes, alternative standards or experimental data for materials not covered by this standard.

6.1.4 Classification of actions

Actions can be classified by their variation in time or by their nature and/or structural response:

NOTE For the definition of an 'action', reference can be made to EN 1990:2002 in Europe, 1.5.3.1.

- Permanent actions (G) are self-weight of supports including foundations, fittings and fixed equipment, self-weight of conductors and the effects of conductor tensile loads at the reference temperature without ice and/or wind action. The characteristic value of permanent actions can normally be determined as one value G_K since the variability of G is small.
- Variable actions (Q) comprise wind loads, ice loads, or other imposed loads. Wind and ice loads as well as applicable temperatures are climatic conditions which can be assessed by probabilistic methods or on a deterministic basis or from applicable standards such as IEC 62498-2. Conductor tensile load effects due to wind and ice and temperature deviations are variable actions as well. For variable actions, the characteristic value Q_K corresponds to a nominal value used for deterministic based actions or an upper value of an intended probability not to be exceeded or a lower value with an intended probability not to be lower during a reference period.

- Accidental actions (A) are loads related to failure containment, etc. The representative value is generally a characteristic value A_K corresponding to a specified value. The dynamic actions after the operation of the fall arresting device of an automatic tensioning device or the failure of a contact or catenary wire may be considered by the use of an equivalent static action.
- Construction and maintenance loads (Q_{PK}) take into account working procedures, temporary guying, lifting arrangements, etc. The characteristic values Q_{PK} for construction and maintenance loads are deterministic values stipulated to guarantee the safety of structures and people.

6.1.5 Reliability levels

In principle, overhead contact lines shall be designed using a certain design working life and adequate reliability requirements. For civil structures of overhead contact lines, except temporary installations, a design working life of 50 years should be considered. The provisions shall comply with ISO 2394. Design application rules are defined in EN 1990 for Europe.

6.1.6 Models for structural analysis and resistance

Calculations shall be performed using appropriate design models involving relevant variables. The models shall be appropriate to predict the structural behaviour and the serviceability and failure limits. They should be based on an established engineering theory and practice, verified experimentally if necessary.

Concerning the interaction between foundation and soil, special attention should be paid to the loads derived from the supports, loads resulting from active soil pressure and permanent weight of foundation and soil and buoyancy effects of groundwater on soil and foundation. Together with the reaction forces of the soil strata, these effects shall be taken into account when calculating the foundations. In addition, the criteria for acceptable settlements of the foundations, imposed deformations on supports and the contact lines and inclinations of the supports should be defined and taken into consideration.

6.1.7 Design values and verification methods

In this standard, reliability is achieved by the application of partial factors and appropriate return periods for climatic actions based on statistical approach and partial factors for deterministic actions and for material properties. The partial factor method verifies that the effects of design actions do not exceed the design resistance at the failure limit and that design complies with the performance requirements concerning the serviceability limit.

The design value F_d of an action is expressed in general terms as:

$$F_d = \gamma_F \times F_K \quad (7)$$

where

γ_F is the partial factor for actions;

F_K is the characteristic value of an action.

In general, the partial factor for actions γ_F takes account of the possibility of unfavourable deviations of the actions, inaccurate modelling and uncertainties in the assessment of the effects of actions. For deterministic calculations including accidental loads, the partial factor may be applied to the effect of the characteristic values of action, i.e. on the conductor tensile load including the effects of wind, temperature and ice.

The design value X_d of a material property is generally defined as:

$$X_d = \frac{X_K}{\gamma_M} \quad (8)$$

The partial factor γ_M for material property covers unfavourable deviations from the characteristic value X_K of the material property, inaccuracies in applied conversion factors, and uncertainties in the geometric properties and the resistance model.

In the design of any component or their connection it shall be verified that

$$E_d \leq R_d, \quad (9)$$

where

E_d is the total design value of effects of action such as internal forces or moments or their combination.

E_d is a function of the actions in a certain design situation:

$$E_d = f(\gamma_G G_K; \gamma_W Q_{WK}; \gamma_I Q_{IK}; \gamma_P Q_{PK}; \gamma_C Q_{CK}; \gamma_A A_K) \quad (10)$$

where

G_K self-weight of supports, conductors fittings and conductor tensile forces depending on self weight considering reference temperature;

Q_{WK} characteristic wind load;

Q_{IK} characteristic ice load;

Q_{PK} construction and maintenance load;

Q_{CK} conductor tensile forces depending on the temperatures and climate related loads;

A_K actions induced by accidental loads and special actions;

$\gamma_G, \gamma_W, \gamma_I, \gamma_P, \gamma_C, \gamma_A$ associated partial factors.

R_d is the corresponding structural design resistance associating all structural properties with the respective design value X_{nd} according to:

$$R_d = f\{X_{1d}; X_{2d} \dots\} \quad (11)$$

For more details refer to EN 50341-1 in Europe. For urban mass transportation systems the calculations described in this subclause are not required.

6.2 Actions on overhead contact lines

6.2.1 General

Characteristic values for actions on lines concerning climatic data can be derived from probabilistic or deterministic approaches based on long periods of successful experience. The climatic data may be taken from relevant standards such as IEC 62498-2 or ISO 4354 or EN 1991-1-4 in Europe and may be given in the purchaser specification. The total of actions constitutes a complete design system especially taking the established load cases into consideration.

Actions on overhead contact lines are be considered as quasi-static actions, which do not require the verification of fatigue strength.

In case of essential vibration of structure e.g. bridges under earthquake conditions, effects of the vibration on overhead contact line should be considered.

Dynamic actions due to pantograph/contact line interaction caused by running trains are small and need not be considered. Aerodynamic action by running trains should be considered additionally, if required. The aerodynamic action in railway tunnel should be taken in consideration according to IEC 62498-2. Any detailed requirements should be stated by the purchaser specification.

During construction, the loads due to the wheels running on the tracks should be considered where required, e.g. for foundation excavation.

NOTE EN 1991-2 gives the general requirements in Europe.

6.2.2 Permanent loads

Self-weight of supports and their equipment such as cantilevers, tensioning equipment, insulators and span wires act as permanent loads. Conductor tensile forces of automatically tensioned wires and stagger loads can be considered as permanent loads. The characteristic value is G_K .

6.2.3 Variable loads

The variation in tension of fixed termination equipment shall be determined according to each individual load case such as:

- conductor under the action of ice load,
- conductor at both the design temperature and the minimum temperature,
- conductor under the action of maximum wind load,
- conductor under the combined action of wind and ice load.

The characteristic value is Q_{CK} and for other components are Q_{WK} , Q_{IK} , Q_{PK} .

6.2.4 Wind loads

6.2.4.1 General

Design of overhead contact lines in view of wind loads shall be based on the meteorological wind velocity measured 10 m above ground over an average period of 10 min in a relatively open terrain designated with terrain category II in ISO 4354, in national standards or in EN 1991-1-4 in Europe. For the structural design of the supports, the wind velocity having a return period of 50 years shall be used whilst for the verification of the serviceability the return period for wind velocity shall be given in the purchaser specification. Wind velocities have been recorded by meteorological services for many years. In most countries, information on the statistical wind data is available depending on the region. Values for the 50 years wind velocities are given in IEC 62498-2, in national standards or shall be given in the purchaser specification.

If the site concerned is located on high viaducts or bridges, the wind velocities to be used shall consider the relevant height above ground.

Design of wind loads on overhead contact lines may be undertaken in accordance with standard methods, for example in ISO 4354, in national standards, or in EN 1991-1-4 in Europe or alternatively in accordance with the method described in 6.2.4.2 to 6.2.4.7.

6.2.4.2 Dynamic wind pressure

The dynamic wind pressure q_K measured in N/m^2 acting on elements of overhead contact lines shall be determined by:

$$q_K = \frac{1}{2} G_q \times G_r \times \rho V_R^2 \quad (12)$$

where

G_q is the gust response factor as defined in EN 50341-1:2001 in Europe or in national standards. For overhead contact lines with heights of approximately 10 m, G_q should be 2,05;

G_t is the terrain factor taking into account the protection of lines, e. g. in cuts, cities or forests. In open terrain G_t shall be 1,0; for other sites or protected sites factors G_t may be defined in national standards or by the purchaser specification;

V_R is the reference wind velocity in m/s at a height of 10 m above ground averaged over 10 min having a return period in accordance with 6.2.4.1;

ρ is the air density equal to 1,225 kg/m³ at 15 °C and 600 m altitude. For other values of temperature and altitude, the relevant air densities can be calculated with Equation (13):

$$\rho = 1,225 \times \left(\frac{288}{T} \right) \cdot e^{-1,2 \cdot 10^{-4} \cdot H} \quad (13)$$

where

T is the absolute temperature in K;

H is the altitude in m.

For line elements more than 10 m above the reference ground level the wind speed increases according to an appropriate logarithmic or power law.

In many countries stipulations for the dynamic wind pressures q_K exist which take into consideration the gust response factor and the given wind conditions. These data can be used for the design of contact lines in addition.

The dynamic wind pressure for different return periods can be derived from the 50 year dynamic wind pressure using the procedures given in national standards, such as EN 50341-1:2001 in Europe.

6.2.4.3 Wind forces on conductors

Wind pressure on conductors causes forces transverse to the direction of the line. From two adjacent spans the wind force on a support shall be determined by:

$$Q_{WC} = q_K \times G_C \times d \times C_C \times \frac{L_1 + L_2}{2} \times \cos^2 \Phi \quad (14)$$

where

q_K is the characteristic dynamic wind pressure (refer to 6.2.4.2);

G_C is the structural response factor for conductors taking into account the response of moveable conductors to wind load. The factor G_C should be determined according to national experience. A widely accepted value would be $G_C = 0,75$;

d is the diameter of the conductor;

C_C is the drag factor of the conductor. A value of 1,0 is recommended; other values may be given in the purchaser specification;

L_1, L_2 are the lengths of the two adjacent spans;

Φ is the angle of incidence of the critical wind direction in respect to the perpendicular to the conductor. In general Φ is assumed to be zero.

Where twin conductors are run in parallel a reduction in the wind load may be taken on the leeward conductor, as 80 % of the windward conductor if the spacing between the axes is less than five times the diameter.

6.2.4.4 Wind forces on insulators and other line fittings

The wind force on an insulator acts at the attachment point to the support in wind direction and shall be determined by:

$$Q_{W\text{ ins}} = q_K \times G_{\text{ins}} \times C_{\text{ins}} \times A_{\text{ins}} \quad (15)$$

where

- q_K is the characteristic dynamic wind pressure (refer to 6.2.4.2);
- G_{ins} is the structural resonance factor for insulator sets. A value of 1,05 is recommended; other values may be given in the purchaser specification;
- C_{ins} is the drag factor for insulators. A value of 1,2 is recommended; other values may be given in the purchaser specification;
- A_{ins} is the area of the insulator projected horizontally on a vertical plane perpendicular to the axis of wind action.

The wind force on other components shall be calculated from formula (15) with due consideration of appropriate drag factors. In many cases wind loads on insulators or line fittings will be very low in proportion to that from other sources.

6.2.4.5 Wind forces on cross-spans and cantilevers

The wind forces acting on cross-beams, head spans and cross-spans as well as cantilevers shall be determined by summing up the wind actions on the individual elements. The wind actions on the individual elements can be determined by the formulae specified in 6.2.4.3 for conductors, 6.2.4.4 for insulators and 6.2.4.7 for other structural components.

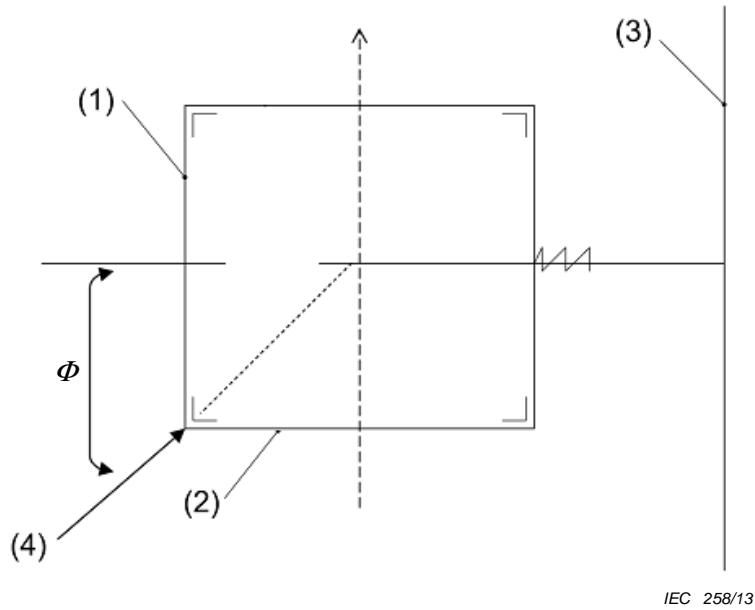
6.2.4.6 Wind forces on lattice structures

For lattice structures of rectangular cross-sections the wind forces shall be calculated from:

$$Q_{W\text{t}} = q_K \times G_{\text{lat}} (1 + 0,2 \sin^2 2\phi) (C_{\text{lat1}} \times A_{\text{lat1}} \cos^2 \phi + C_{\text{lat2}} \times A_{\text{lat2}} \sin^2 \phi) \quad (16)$$

where

- q_K is the dynamic wind pressure (refer to 6.2.4.2);
- G_{lat} is the structural resonance factor. For lattice structures this should be taken as 1,05;
- C_{lat1} is the drag factor for the lattice structure face 1 in a wind perpendicular to this face;
- C_{lat2} is the drag factor for the lattice structure face 2 in a wind perpendicular to this face;
- A_{lat1} is the effective area of the elements of the lattice structure face 1;
- A_{lat2} is the effective area of the elements of the lattice structure face 2;
- ϕ is the angle between wind direction and the perpendicular to structure face 1 (see Figure 3).



Key

- (1) face 1
- (2) face 2
- (3) overhead contact line
- (4) wind direction

Figure 3 – Wind action on lattice steel structures

Alternatively the wind force may be calculated in accordance with Eurocodes or purchaser specifications.

The drag factors C_{lat} depend on the solidity ratio as described in ISO 4354 and EN 1991-1-4:2005, 7.11 for Europe. An appropriate value is $C_{lat} = 2,8$ for lattice structures with square or rectangular cross-section made of angle sections.

6.2.4.7 Wind forces on other structures

Wind force on other structures is equal to:

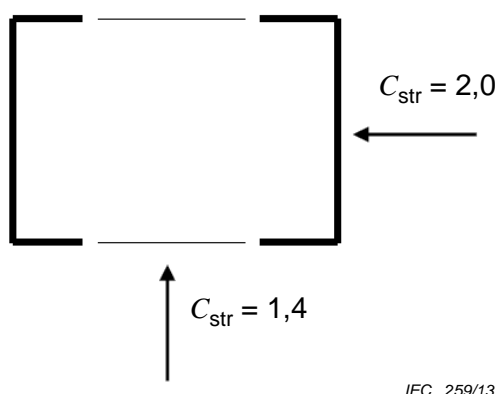
$$Q_{W\ str} = q_K \times G_{str} \times C_{str} \times A_{str} \tag{17}$$

where

- q_K is the dynamic wind pressure (refer to 6.2.4.2);
- G_{str} is the structural resonance factor for a structure. For self-supporting steel and concrete structures typically used for overhead contact lines G_{str} shall be 1,0. Other values may be used if determined from approved standards or methods;
- C_{str} is the drag factor depending on the shape and surface roughness of the structure. The values in Table 13 are recommended; other values may be given in the purchaser specification;
- A_{str} is the projected area of the structure.

Table 13 – Recommended values for factor C_{str} for different structure types

Structure type	C_{str}
Tubular steel and concrete structures with circular cross-section	0,7
Tubular steel structures with dodecanal cross-section	0,85
Tubular steel and concrete structures with hexagonal or octagonal cross-section	1,0
Tubular steel and concrete structures with square or rectangular cross-section	1,4
Double channel with square or rectangular cross-section	See Figure 4
H profiles	1,4

**Figure 4 – Definition of drag factors for double channel structure**

6.2.5 Ice loads

Ice loads are created by accretion due to hoar frost, precipitation icing or wet snow at the conductors of overhead contact lines. The characteristic ice loads g_{IK} depend on the climate and the local conditions, e.g. the height above ground, the proximity to lakes and the exposure to wind. Definitions for ice loads are given in IEC 62498-2. The ice loads should be given in the purchaser specification.

If specified in the purchaser specification ice on structures shall be considered.

6.2.6 Combined wind and ice loads

Where the combined actions of wind and ice load are considered for the design of overhead contact line installations and structures, 50 % of the wind load according to 6.2.4 may be assumed as acting on structures and equipment without ice and on conductors with ice diameter. The ice loads shall be used according to 6.2.5 taking consideration of D_1 as following. An alternative value may be given in the purchaser specification. This is a simplified method of the common cases of considering independent variable actions by additional combination factors. The unit weight force ρ_1 of the ice may be taken from appropriate standards and the aerodynamic drag factor as 1,0.

An increase in the diameter of the ice accretion should be considered if given in the purchaser specification. The equivalent diameter D_1 in metre of the ice accretion shall be calculated from:

$$D_1 = \sqrt{d^2 + \frac{4 \times g_{IK}}{\pi \times \rho_1}} \quad (18)$$

where

d is the conductor diameter without ice measured in metres;

g_{IK} is the characteristic ice load measured in N/m.

6.2.7 Temperature effects

The temperature effects shall be considered in common with the other existing climatic actions. The following parameters should be defined by the purchaser specification, based on IEC 62498-2:

- the minimum temperature to be considered with no other climatic action;
- the ambient reference temperature for the extreme wind load condition;
- the temperature to be assumed with ice loads and combined wind and ice load, where relevant;
- the reference temperature for the calculation of tensile forces as a permanent action.

The following temperatures are used in many European countries: minimum temperature -20 °C ; ambient reference temperature $+5\text{ °C}$; temperature with ice loads (and combined wind and ice load where relevant) -5 °C ; reference temperature for calculation of tensile force as a constant action is $+15\text{ °C}$. The temperatures can be used when considering the tensile load of the conductors.

6.2.8 Construction and maintenance loads

Loads due to construction and maintenance activities shall be considered, taking into account working procedures, temporary guying, lifting arrangements, etc. Recommended values of at least 1,0 kN shall be assumed for the horizontal cross-beams of portal structures and at least 2,0 kN for other types of structures, acting vertically. These forces shall act at the individually most unfavourable nodes of the cross-beams or at the attachment points of supports or conductors to the structures.

Structural elements need not be designed for such loads where appropriate working practices are adopted. Details should be given in the purchaser specification.

6.2.9 Accidental loads

Accidental loads are specified to take care of failure containment and emergency situations. In general, at any conductor attachment point to a structure the relevant residual static load resulting from the release of the tension of a contact wire, catenary wire or feeder line shall be applied. In general, it is sufficient to consider accidental loads for structures at the end of tensioning sections or for anchor structures of mid-span anchors. Details should be given in the purchaser specification together with a definition of associated load cases.

6.2.10 Special actions

Consideration should be given to special actions that might be relevant, such as forces imposed on the overhead contact line system after very high short-circuit currents..

Requirements on special actions may be given by national regulations.

When overhead contact lines are to be constructed in seismically active regions, consideration can also be given to forces on installations due to earthquakes and/or seismic tremors.

NOTE Informations are given in ISO 3010 respectively EN 1998 for Europe and EN 50341-1:2001, Annex C for Europe.

6.3 Types of structures and related load cases

6.3.1 Load cases and load combinations

6.3.1.1 General requirements

For the design of conductors, equipment and supports including foundations, ultimate limit state shall be determined by consideration of the load case giving the maximum load effect in each individual element.

Conductor tensile forces shall be determined according to the loads acting on the conductors in the load case under consideration. The components of the conductor tensile forces at the attachment points of the support including the effect of vertical and horizontal angles shall be taken into account properly. The loads on the supports shall be selected taking into account the defined function of the support in the overhead contact line system. Where a support carries out several functions, e.g. a tensioning structure carrying as well cantilevers, the most unfavourable combination of the loads that can occur simultaneously shall apply.

The purchaser specification may give additional requirements, if necessary. Short-term load conditions occurring during installation and re-construction activities shall be separately considered.

The standard load cases are defined in 6.3.1.2 to 6.3.1.7. The applications of these load cases are shown in Table 14 and 6.3.2.

There are relations between environmental conditions like temperature and wind velocity.

6.3.1.2 Load case A: Loads at minimum temperature

Permanent loads, conductor tensile forces at the minimum and design ambient temperature shall be considered.

The temperature conditions described in 6.2.7 should be considered.

6.3.1.3 Load case B: Maximum wind loads

Permanent loads, conductor tensile forces increased by the action of wind and wind loads on each element according to 6.2.4 of this standard, acting in the most unfavourable direction. The ambient temperature under this condition should be as specified in 6.2.7.

6.3.1.4 Load case C: Ice loads

Permanent loads, conductor forces increased by the ice loads according to 6.2.5 and ice loads on structures, if applicable.

6.3.1.5 Load case D: Combined action of wind and ice loads

Permanent loads, conductor tensile forces increased by the combined effect of ice loads and wind loads, according to 6.2.6 of this standard, and wind and ice loads acting on structures. The wind load acts in the most unfavourable direction.

6.3.1.6 Load case E: Construction and maintenance loads

Permanent loads, increased by construction and maintenance loads according to 6.2.8 of this standard together with a reduced wind load and reduced ice load where specified.

6.3.1.7 Load case F: Accidental loads

Permanent loads together with the unintentional reduction of one or several conductor forces.

6.3.2 Type of structures and application of load cases

6.3.2.1 Cantilevers

Cantilevers carry the overhead contact line of one or more tracks. They may be fixed to the supports by hinges allowing the cantilevers to rotate around a vertical axis, providing no resistance to longitudinal loads from the overhead contact line. Alternatively, cantilevers fixed rigidly to the structures offer resistance against longitudinal forces created by the overhead contact lines.

The relevant load cases are:

- A, B, C and if necessary D for hinged cantilevers,
- A, B, C, if necessary D, if necessary E and F for rigid cantilevers.

6.3.2.2 Head spans

Head spans carry overhead contact lines by means of rope elements and insulators under tensile load only.

The relevant load cases are A, B, C, if necessary D, if necessary E and F. The load case F is applicable only for head spans with midpoints.

6.3.2.3 Rigid cross-span structures (cross-beams, portals)

Rigid cross-span structures consist of bending resistant beams which are fixed onto the structures either by hinges or by bending resistant joints.

The relevant load cases are A, B, C, if necessary D, if necessary E and F.

6.3.2.4 Suspension structures

A suspension structure carries one or several cantilevers to support the overhead contact line.

The relevant load cases are A, B, C, if necessary D and if necessary E.

6.3.2.5 Curve pull-off structures

Curve pull-off structures carry radial forces from one or several overhead contact lines, and sometimes vertical loads (e.g. when cants and/or slopes exist).

The relevant load cases are A, B, C, if necessary D and if necessary E.

6.3.2.6 Midpoint anchor structures

A midpoint anchor structure is designed to resist the termination forces of the midpoint anchor in addition to other functions such as carrying cantilevers.

The relevant load cases are A, B, C, if necessary D, if necessary E and F.

6.3.2.7 Midpoint structures

A midpoint structure is designed to resist the radial forces from the midpoint anchors in addition to the other functions such as carrying the cantilevers.

The relevant load cases are A, B, C, if necessary D and if necessary E.

6.3.2.8 Structures for flexible and rigid cross-supporting structures

Structures designed to resist the forces resulting from any kind of cross-supporting structures such as head spans, cross-beams and cross-spans.

The relevant load cases are A, B, C, if necessary D and if necessary E. Load case F shall be considered if a midpoint is arranged there.

6.3.2.9 Structures for horizontal catenary wire arrangements

At structures for horizontal catenary wire arrangements forces act in several directions and at different heights simultaneously.

The relevant load cases are A, B, C, if necessary D and F.

NOTE A horizontal catenary wire is an arrangement where the contact wires are supported from wires that are mainly in a horizontal position. This arrangement is mainly used within urban areas. The masts or buildings where the horizontal wires are fixed can be relatively far from the tracks.

6.3.2.10 Tensioning structures

A tensioning structure carries the termination of overhead contact line equipment and other conductors being automatically tensioned or rigidly fixed and may also have other functions such as carrying cantilevers or head span elements.

The relevant load cases are A, B, C, if necessary D and if necessary E.

Load case F if contact lines are terminated in two opposing directions in order to allow for the unintentional reduction of tensile loads.

6.3.2.11 Structures with feeder and parallel reinforcing lines

These structures carry the loads from feeders and parallel reinforcing lines and perform other functions within the overhead contact line installation. If necessary a distinction should be made between structures fitted with suspension or tension insulator sets.

The relevant load cases are A, B, C, if necessary D, if necessary E and F.

6.3.2.12 Overhead contact line structures carrying additional overhead power lines

Structures with additional overhead power lines carry the loads from overhead lines and take care of other functions within the overhead contact line installation.

The relevant load cases are A, B, C, if necessary D, if necessary E and F concerning the actions resulting from the overhead contact line. In addition the load cases according to EN 50341-1 in Europe have to be considered with respect to the function of the support within the overhead contact line system.

6.3.2.13 Anchor supports

Anchor supports are structural elements to resist the tensile forces of stay wires supporting structures of contact lines.

The load cases shall be selected according to the type of anchored structure.

6.3.2.14 Support foundations

Foundations shall be considered in accordance with 6.5. The relevant load cases are A, B, C, if necessary D, if necessary E and F.

Table 14 – Summary of load cases to be considered for each type of structures

Type of structure		Load case to be considered					
		A Minimum temperature ^f	B Wind ^g	C Ice ^{e, h}	D Wind and ice ^{e, h}	E Construction and maintenance ^{e, h}	F Accidental ^g
1a	Cantilevers hinged	X	X	X	X	X	-
1b	Cantilevers rigid	X	X	X	X	X	X
2	Headspans	X	X	X	X	X	X ^a
3	Portals/ Cross-beams	X	X	X	X	X	X
4	Suspension structures	X	X	X	X	X	-
5	Pull-off structures	X	X	X	X	X	-
6	Midpoint anchor	X	X	X	X	X	X
7	Midpoint structures	X	X	X	X	X	-
8	Structures for flexible and rigid cross-supports	X	X	X	X	X	X ^a
9	Structures for horizontal catenary wire arrangements	X	X	X	X	-	X
10	Tensioning structures	X	X	X	X	X	X ^c
11	Structures with feeder and parallel reinforcing lines	X	X	X	X	X	X ^e
12	OCS structures carrying additional power lines ^b	X	X	X	X	X	X
13	Anchor supports	X ^d	X ^d	X ^d	X ^d	X ^d	X ^d
14	Support foundations	X	X	X	X	X	X
The above is provided as a guide. For some structures additional load combinations will be necessary.							
<p>^a If midpoint.</p> <p>^b See also EN 50341-1 in Europe.</p> <p>^c If contact lines are terminated in two opposite directions.</p> <p>^d Depending on the type of anchor.</p> <p>^e If necessary.</p> <p>^f Minimum temperature to be considered with no other climatic action. See 6.2.7.</p> <p>^g The normal ambient reference temperature to be assumed for the extreme wind load condition. See 6.2.7.</p> <p>^h Temperature to be assumed with ice loads and combined wind and ice load, where relevant. See 6.2.7.</p>							

6.3.3 Partial factors for actions

6.3.3.1 General

The use of factors is standard practice according to ISO 10721 (all parts) and EN 1993 (all parts) in Europe for steel structures and to EN 1992 (all parts) in Europe for concrete structures. The partial factors are separated into partial factors for actions and partial factors for materials. The relevant partial factors for actions and for materials are specified in this standard. For conditions not covered here, partial factors may be taken from ISO 2394 and EN 1990 in European Standards for structural design or may be given in the purchaser specification. The applicable partial factors are summarized in Table 15 or can be defined in national regulations.

6.3.3.2 Permanent actions

The partial factor for permanent actions of self-weight is γ_G and for permanent actions of conductor tensile forces is γ_{CG} . A value of 1,3 is recommended; alternative values may be given in the purchaser specification. Where the self-weight of any element acts favourably, i.e. reducing the loading, the partial factor γ_G shall be assumed to be 1,0.

6.3.3.3 Variable actions, wind and ice loads

For the partial factors γ_W for wind loads, γ_I for ice loads and γ_{CV} for conductor tensile forces under the action of wind or ice loads; a value of 1,3 is recommended. Alternative values may be given in the purchaser specification.

6.3.3.4 Accidental loads

In case of accidental load cases the partial factors γ_G for permanent loads, γ_C for conductor tensile forces and γ_A for accidental loads can be assumed as 1,0.

Dynamic loads due to wire breaking can be considered by the use of equivalent static loads.

6.3.3.5 Construction and maintenance loads

The partial factor for construction and maintenance loads γ_P shall be 1,5. This shall be combined with a value of 1,3 for partial factors γ_G and γ_{CG} for permanent actions.

Table 15 – Summary of partial factors for actions

Type of load	Load case					
	A	B	C	D	E	F
Permanent γ_G γ_{CG}	1,3 ^b	1,3 ^b	1,3 ^b	1,3 ^b	1,3 ^b	1,0 ^b
Permanent favourable γ_G , γ_{CG}	1,0 / 0 ^a	1,0 / 0 ^a	1,0 / 0 ^a	1,0 / 0 ^a	1,0 / 0 ^a	1,0 / 0 ^a
Wind γ_W , γ_{CV}	-	1,3 ^b	-	1,3 ^b	-	1,0 ^b
Ice γ_I , γ_{CV}	-	-	1,3 ^b	1,3 ^b	-	-
Accidental γ_A	-	-	-	-	-	1,0
Construction γ_P	-	-	-	-	1,5	-
^a Equipment removed. ^b Recommended value.						

6.4 Design of cross-span supports and structures

6.4.1 Analysis of internal forces and moments

The internal forces and moments within cross-span supports and structures as described in 6.3.2 shall be determined using the principles of static of rigid and flexible structures whether being statically determinate or statically indeterminate structures or flexible rope systems. Additional requirements can be found in

- ISO 10721 (all parts) and EN 1993 (all parts) and EN 1090-1 (in Europe) for steel structures,
- EN 12510 (in Europe) for timber structures,
- EN 12843 (in Europe) for concrete poles,
- EN 1992 (all parts) (in Europe) for concrete structures,
- ISO/TR 11069 and EN 1999 (all parts) (in Europe),

- EN 50341-1 (in Europe),
- the recognised publications of structural analysis.

6.4.2 Analysis of resistance

The elements of cross-span supports of contact line installations are loaded in compression, tension, bending or torsion. The calculation of the resistance of elements shall consider the type of load as well as buckling, stability if required and the analysis of connections.

Concerning the analysis of resistance of steel structures, reference shall be made to EN 50341-1 (in Europe) and to:

- ISO 10721 (all parts), ISO 630 (all parts) and EN 1993-1-1 (in Europe) for steel structures,
- EN 12510 (in Europe) for timber structures,
- In Europe to EN 1992-1-1 and EN 12843 for reinforced concrete structures.

The resistance of solid wires, stranded conductors of metallic material loaded by tensile forces follow from the relevant standards, e.g. EN 50149 or EN 50182 in Europe. The design resistance shall be obtained by dividing the failing load by a material partial factor.

6.4.3 Material partial factors

The partial factors γ_M for steel material may be taken either from standard values, for example from ISO 10721 (all parts), ISO 630 (all parts), EN 1993-1-1 or EN 50341-1 in Europe or from the recommended values in Table 16. Alternative values can be found in national regulations.

Table 16 – Recommended values for partial factors γ_M for steel material

Structure type	γ_M
Resistance of cross-sections under tensile forces and bending	1,10
Resistance of members to buckling	1,10
Resistance of connections under shearing and bearing	1,25
Resistance of net cross-sections based on ultimate tensile stress under tensile load	1,25
Resistance of welded connections	1,25
Resistance of bolts in tension	1,25
Metallic ropes under tensile force	1,50

The partial factors for timber structures shall be taken as $\gamma_M = 1,50$, for the resistance of cross-sections and elements.

The partial factors for concrete structures may be taken from the recommended values in Table 17. Alternative values can be found in national regulations.

Table 17 – Recommended values for partial factors γ_M for concrete structures

Structure type	γ_M
Pre-stressing force ^a	0,90 or 1,20
Concrete	1,50
Reinforcing steel (ordinary or pre-stressed)	1,15
^a Depending upon whether the action is favourable or not for the calculated effect.	

Tensile stresses in the concrete of pre-stressed concrete poles are not permitted under the following conditions:

- 66 % of the sum of permanent and variable loads;
- sum of permanent and 40 % of variable loads.

EN 12843 should be applied in Europe to precast concrete masts and poles.

6.4.4 Verification of resistance

The verification of resistance shall demonstrate that the resistance taking into account the relevant material and structure behaviour partial factors is higher than the effects of action with their relevant partial factors applied.

6.4.5 Verification of serviceability

In general, the deformation of supports and all other structural components shall be kept in permissible limits to guarantee the serviceability of the overhead contact line. Detailed requirements should be given in the purchaser specification.

The deformation can be calculated using the methods of static analysis as described in 6.4.1.

In some cases e.g. on bridges, displacement due to vibration has to be taken in account.

Types of tolerances and limits are given in Table 12.

6.4.6 Material for structures

Concerning suitable materials, reference shall be made to national regulations or to the following standards:

- steel materials and welding consumables shall comply with the requirements of ISO 10721 (all parts), ISO 630 (all parts) and EN 1993-1-1 and EN 1993-1-10 in Europe as well as EN 10025 (all parts), EN 10149 (all parts) and EN 10164 in Europe. Structural steel qualities S235J0, S235J2G3/G4, S355J0 and S355J2G3/G4 according to EN 10025 (all parts) in Europe or equivalent qualities are preferred. Only the strength qualities 4.6, 5.6, 8.8 and 10.9 according to ISO 898-1 should be used for bolts (and 5 and 8 according to ISO 898-2 and EN 20898-2 in Europe for nuts). Appropriate consideration shall be given to minimum service temperatures, material thicknesses, tensile stresses and the requirements for the avoidance of brittle fracture,
- structural parts made of aluminium or aluminium alloys shall comply with ISO/TR 11069:1995 and EN 1999 (all parts) in Europe. The standards EN 755-1 and EN 755-2 for extruded tubes and profiles made of aluminium and EN 485-1 for sheets, strips and plates made of aluminium shall also be considered in Europe,
- EN 50182 for stranded conductors made of aluminium, aluminium alloy and composite conductors in Europe,
- EN 50345 for synthetic ropes in Europe,
- concrete structures for new foundation should comply in Europe with EN 1992-1 (all parts).

Where different steel qualities are proposed, the performance at low temperatures should be considered, for example through the use of impact testing or by long-term experience.

NOTE On this basis steel quality S235JR is currently used in some countries.

Timber structures should be specified in conformity with the requirements of EN 12465, EN 12479, EN 12509, EN 12510 and EN 12511 in Europe.

EN 10210 (all parts) or EN 10219 (all parts) shall be used in Europe for hollow sections.

Additionally guidance may be given in a purchaser specification. Guidance on the design of structural details can also be found in Annex B and in EN 1090 (all parts) for steel and aluminium for Europe.

6.4.7 Corrosion protection and finishes

Cross-span supports and structures shall be designed to fulfil their intended working life. To ensure their longevity, steel components shall be protected against corrosion. Copper, copper alloy and aluminium components do not always require protection, due to their material properties. Plastic components do not corrode but their longevity in service will need to be assured.

Galvanizing of steel parts is standard practice as described in ISO 1461. In addition, a paint coating over galvanizing applied in plant (Duplex system) can be recommended, subject to earthing and bonding considerations. The coating material should be lead-free and in accordance to national labour safety regulations. Moreover, the guidelines established by operators should be applied accordingly.

Generally it is presupposed that the execution of work is carried out with the necessary skill and adequate equipment. The execution of steel and aluminium structures should comply to EN 1090 (all parts) for Europe.

6.5 Foundations

6.5.1 General

Subclauses 6.5.2 to 6.5.12 contain details on the geotechnical and civil engineering design of foundations for overhead contact lines, which are important and sufficient for the design of structures. Subclauses 6.5.2 to 6.5.12 are essentially based on EN 1997-1:2004 and EN 1997-2:2007 for Europe and refer to these two standards where appropriate.

Alternatively, foundations may be designed by referring directly to EN 1997-1:2004 and EN 1997-2:2007 in Europe. Where these standards are used, they should be supplemented with additional requirements taken from 6.5.2 to 6.5.12 as required.

Annex C gives information on geotechnical soil investigation and soil characteristics.

6.5.2 Design of foundations

The foundations of supports shall be capable of transferring the structural loads resulting from the actions on the support into the subsoil.

The following items should be taken into consideration when designing foundations:

- design loads and design formulae;
- configuration of the foundation;
- limiting values of displacements;
- geotechnical design parameters taking into account groundwater levels;
- design parameters for structural materials;
- support/foundation interconnections;
- foundation construction and installation;
- special loads;
- electrical resistance of the foundation to earth.

6.5.3 Calculation of actions

The loads resulting from the pole and structural design as well as the dead load of the foundation itself and the dead load of the soil shall be considered with their design values as specified in 6.3, 6.4 and 6.5.2.

6.5.4 Geotechnical design

6.5.4.1 Basis of design

This subclause gives an outline of the general principles, which apply when designing foundations.

The geotechnical category of the foundation shall be defined in accordance with EN 1997 (all parts) in Europe within the project specification. For single pole arrangements the geotechnical category 1 may be applicable.

The following factors shall be considered when determining the geotechnical design requirements:

- site conditions with respect to overall stability and ground movements;
- nature and size of the structure and its elements, including any special requirements such as the design life;
- conditions with regard to its surroundings;
- ground conditions;
- groundwater conditions;
- regional seismicity;
- influence of environment;
- stabilizing forces of soil.

For each geotechnical design situation it shall be verified that no relevant limit state, as defined in and EN 1997-1:2004 for Europe, is exceeded.

Limit states can occur either in the ground or in the structure or by combined failure in the structure and ground.

Limit states should be verified by one combination of the following:

- use of calculations as described in 6.5.4.2;
- experimental models and load tests, as described in 6.5.4.3;
- adoption of prescriptive measures, as described in 6.5.4.4.

The following limit states should be considered for foundations for overhead contact lines:

- loss of overall stability;
- bearing resistance failure, punching failure, squeezing;
- failure by sliding;
- combined failure in the ground and in the structure;
- structural failure due to foundation movement;
- excessive settlements;
- excessive heave due to swelling, frost and other causes.

If anchored poles are used to stabilise the structure, limit states for anchors in EN 1997-1:2004, 8.2 in Europe, shall also be considered. If pile foundations are used, the limit states for piles in EN 1997-1:2004, 7.2 in Europe, shall also be considered.

For design and construction the following should be considered:

- to avoid effects of frost, the provisions in EN 1997-1:2004, 6.4 in Europe, should be considered;
- the type of foundation and method of installation for pole foundations along railways should be chosen with respect to the special geometrical conditions of the ground surface and the layered ground conditions normally accounted for;
- limiting values for displacements of the top of the foundation (due to angular rotation) in different directions shall be assessed on both ultimate and serviceability limit states taking account of the stiffness of the pole itself;
- when calculating settlements of the foundation also the settlement of the embankment itself should be considered.

The results of geotechnical design of the foundation should be summarised in a in a Geotechnical Design Report, including the type and dimensions of foundations and special requirements for installation and supervision, if any. For more information refer to EN 1997-1:2004, 2.8 in Europe.

For specifications on geotechnical design methods and formulae refer to the respective purchaser specification.

6.5.4.2 Geotechnical design by calculation

Prior to the design a soil investigation shall be performed to establish the geotechnical design parameters. Annex C gives guidelines for soil investigation and selection of geotechnical parameters.

The calculation model shall describe the behaviour of the ground for the limit state in consideration.

Wherever possible, the calculation model should be correlated with field observations of previous designs, model tests or more reliable analyses.

The formulae to be used to determine the foundation resistance are those given in the appropriate code of practice, as given in EN 1997-1:2004 in Europe, or in the respective National Annex, or in the relevant literature, or those which have been used with satisfactory practical experience.

The general design formula has the format:

$$E_d \leq \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (19)$$

where

- E_d is the design value of the structural load;
- R_k is the characteristic value of the foundation ultimate resistance;
- γ_M is the partial factor for the resistance.

NOTE Additional requirements for the selection of characteristic values for geotechnical parameters are given in EN 1997-1:2004, 2.4.5.2 in Europe.

If the soil investigations do not yield other values, the soil characteristics may be assumed according to Annex C (where applicable), an appropriate code of practice, in the relevant literature, or the respective purchaser specification when designing the foundations.

In case of groundwater, the reduction of load carrying capacity of the foundation due to buoyancy shall be considered when analysing the foundation taking into account the most unfavourable groundwater table.

The design resistance of foundations depends on the type of foundation being pile foundation, sidebearing foundations and gravity foundations, the type of load as well as on the soil characteristics and installation conditions. The stability of a foundation under overturning moments or axial forces as well as the pressure between the foundation body and the surrounding soil shall be verified. Alternatively the verification of the foundation may be carried out based on characteristic values with the application of proven calculation models where they have been proven by long-term experience.

6.5.4.3 Load tests and tests on experimental models

Load tests or tests on experimental models form a valuable method for justifying the design of foundations or to test the strength of individual foundations whether test or production foundations. Details concerning the preparation of tests, the testing arrangement, the testing procedure and evaluation are given in IEC 61773.

General rules for design by load tests are given in EN 1997-1:2004, 2.6 for Europe. In this case a special program for the load test should be made considering the site conditions, type of foundation installation procedure and actual load situations. Deformations at variable loads should be considered.

The results of the load test shall be reported and evaluated. For evaluation, refer to IEC 61773 and the literature. For load testing of piles, refer to EN 1997-1:2004, Clause 7 in Europe.

Design rules evaluated for a specific foundation type and foundation method by load tests or tests on experimental models can also be given in the purchaser specification.

6.5.4.4 Geotechnical design by prescriptive measures

In situations where calculation models are not available or unnecessary, the design may be done by the use of prescriptive measures confirmed by experience. These involve conventional and generally conservative details in design, and attention to specification and control of materials, workmanship, and maintenance procedures.

Prescriptive methods may be used where comparable experience exists and the load situations and ground conditions are equal or more favourable than those from experiences. For more information refer to EN 1997-1:2004, 2.5 in Europe.

Reference to such conventional and generally conservative rules may be given in the respective purchaser specification.

6.5.5 Structural design

The structural design of the foundation body should be based on design loads. The design may also make allowance for additional capacity, depending on the structure design.

The rating and calculation of forces and bending moments and the installation of concrete sidebearing foundations shall be carried out according to EN 1992-1 (all parts) in Europe.

For special structural requirements on spread foundations refer to EN 1997-1:2004, 6.8 in Europe.

The rating of the steel reinforcement shall be carried out in accordance with and EN 1992-1-1 in Europe. Where applicable the rules for design of non-reinforced concrete shown in EN 1992-1-1 in Europe should also be applied.

The structural design of piles depends essentially on the type of pile. Piles are loaded by axial and shear forces and by bending. The maximum combined loads shall be determined and the cross-sections shall be verified by adoption of relevant standards such as EN 1992-1-1 in Europe for concrete piles and ISO 10721 (all parts) and EN 1993-1-1 in Europe for steel piles. The internal forces and moments can be calculated using appropriate methods presented in the literature and/or proved by long-term application.

NOTE Additional information about structural design of piles is given in EN 1997-1:2004, 7.8 for Europe.

If applicable, the limitation of the deformation shall be considered in accordance with 6.5.7.

6.5.6 Partial factors for foundations

The partial factors for the geotechnical design depend on the type of foundation and the type of loading.

Partial factors may be given in the purchaser specification depending on the type of foundation, the approach used for their verification and national conditions.

Alternatively, the following partial factors in Table 18 can be assumed.

Table 18 – Recommended values for partial factors γ_M for foundations

Structure type	γ_M
Spread foundation	
Bearing resistance	1,4
Earth resistance and bearing resistance	1,4
Sliding resistance	1,1
Pile foundation	
Resistance for piles in compression	1,4
Shaft resistance for piles in tension	1,5

Values of the partial factors can be selected from EN 1997-1 in Europe, taking into consideration the appropriate geotechnical parameters and design model.

6.5.7 Verification of stability

In general, the proof of stability shall verify that the resistance with the partial factors included is higher than the design loads with the partial factors included. The methods for verification of stability are those given in the appropriate code of practice, for example as given in EN 1997-1:2004 for Europe, in the respective National Annex, in the relevant literature, or which have been used with satisfactory practical experience.

The design of pole foundations shall be checked at the ultimate limit states indicated in 6.5.4.1 using design actions or action effects and design resistance.

In case of embankment slope the overall stability shall be analysed according to provisions in EN 1997-1:2004 in Europe, Clause 11.

In cases where a foundation is surrounded by soft soil the resistance shall be calculated as the foundation is installed directly in the natural soil, also when it is installed by excavation and back-filling.

For pile foundations it shall be checked that the design bending moment capacity of the pile is not exceeded at the connection between the pier and the pile.

NOTE For axisymmetric foundations the analysis can be performed in the direction of the resulting actions and overturning moments. For other foundations the verification should be made in two directions considering the overlapping resistance zones in the ground.

Where applicable, e.g. for rectangular foundations loaded by moments in different directions, stability may be verified using the following formula.

$$\frac{M_{dyy}}{R_{dyy}} + \frac{M_{dzz}}{R_{dzz}} \leq 1,0 \quad (20)$$

where

M_{dyy} , M_{dzz} are design moments;

R_{dyy} , R_{dzz} are design moment resistances.

6.5.8 Calculation of displacements

In order to guarantee the serviceability of the contact line, the displacements need to be limited according to the requirements of the operator as given in the purchaser specification. Limits on overall displacement of support structures shall be in accordance with 6.4.5. Deformation of the foundation shall be considered as a contribution to the overall structure deflection.

A significant contribution to the displacements may be carried out by using adequate methods as described in the literature, e.g. based on the subgrade moduli of the soil strata encountered.

The methods for calculation of displacements are those given in the appropriate code of practice, for example as given in EN 1997-1:2004, 2.4 for Europe, or in the respective National Annex, or in the relevant literature, or those which have been used with satisfactory practical experience.

The design of pole foundations shall be checked at the serviceability limit state using the appropriate limit states in 6.5.1.

NOTE The serviceability limit state is often the crucial limit state for single pole foundations.

6.5.9 Materials for foundations

The main materials used for foundations are concrete, reinforcement steel and steel section or tubes.

EN 206-1 applies for concrete in Europe. For overhead contact line foundations, the concrete quality shall be at least C16/20 to cater for sufficient frost proofing. The minimum cement content shall be 240 kg/m³. Higher grades may be required in the purchaser specification.

Concrete structures shall comply with EN 1992-1-1 in Europe.

Steel piles produced from structural steel shall be manufactured from materials in accordance with EN 10025-1 in Europe; preferably the steel qualities mentioned under 6.4.6 should be used.

Materials for driven piles shall meet the requirements according to EN 12699 in Europe.

6.5.10 Structural details

Special attention needs to be paid to the interaction between support and foundation especially where fatigue has an influence. It is standard practice either to arrange anchor bolts in the foundation and fix the support to these anchor bolts. For design of anchor bolts reference shall be made to EN 50341-1:2001, Table K.2 in Europe.

Supports may be inserted into the foundation body. The dimensions of the holes in the foundation body shall be large enough to enable adjustment of the support. A space of 0,1 m between the hole and the support is advisable. This space can be filled up with sand, fine gravel or concrete. A layer of concrete shall be placed over the hole to prevent water ingress; a thickness of at least 0,2 m is advisable. The requirements of EN 1992-1-1 in Europe concerning the concrete covering should be applied.

To protect the supports against humidity and the aggressiveness of the soil the top of the foundation should be arranged above the soil surface; a height of at least 0,3 m is preferable. The top of the foundation should be shaped to avoid standing water.

In urban areas that are publicly accessible, a protection should be put around the base of the pole.

6.5.11 Protection against corrosion and weathering

The protection of foundations against weathering and corrosion shall be achieved by selection of appropriate concrete quality and a sufficient compaction. If steel reinforcement is used the requirements given in EN 1992-1-1 in Europe concerning the concrete covering should be considered. In addition to limit any cracks a structural reinforcement may be applied in the caps of concrete foundations according to the requirements of the purchaser specifications.

Steel piles shall be adequately protected against corrosion. This can be achieved either by providing a concrete sleeve or by applying a coating made of a thick layer of protective material. Alternatively to the mentioned protective provisions, the expected corrosion of steel can be allowed for by providing additional steel thickness.

The supports and foundations of structures for d.c. railway installation need to be protected against stray current corrosion. For details refer to IEC 62128-2.

Anchor bolts shall be protected against corrosion. In case of galvanization an additional protection should be applied if specified by the purchaser.

For steel piles the cross-section should, for the structural design, be reduced with a measure corresponding to the expected average corrosion in the ground over the lifetime; see ISO 10721 (all parts) and EN 1993-5 in Europe or the purchaser specification. Hot dip galvanizing protects the steel from corrosion in drained and lime-rich soils but will only slow the corrosion rate in saturated soils. Organic coating of e.g. epoxy or polythene can be used where the foundation is installed by excavation and back-filling. Additionally, the durability of the coating itself should be considered.

6.5.12 Electrical design

Foundations may be used as earth electrodes, especially in a.c. systems. The earth electrode is formed by the electrical connection of the foundation reinforcement. The following items should be considered to ensure the resistance to earth is decreased:

- no insulation included between reinforcement and soil (not including the resistivity of the concrete);
- the earth resistance will reduce with the increased length and diameter of the earth electrode, where the length is more significant.

6.5.13 Installation of foundations

Although general requirements for installation of overhead contact lines are not included in this standard, requirements for installation for the foundations are necessary as the foundation detail cannot readily be inspected at a later stage to ensure compliance with the design.

Foundations made of concrete shall be constructed and installed in accordance with EN 1992-1-1 in Europe. Refer also to EN 1997-1:2004 in Europe.

The method of installation described in the Geotechnical Design Report shall be transformed into an installation program, with consideration given to the actual site conditions and required design ground parameters.

For the general requirements for checking, supervision and monitoring of installations refer to EN 1997-1:2004, Clauses 4, 5 and 7 in Europe.

When excavating for a foundation the ground beneath the foundation shall not be disturbed and shall be protected against disturbing effects e.g. frost or groundwater seepage. Refer to EN 1997-1:2004, 6.9 in Europe.

The installation methodology should include a plan of supervision so that if ground conditions vary from those envisaged, an alternative foundation can be used or amendments to existing foundation dimensions made. During excavation attention shall be paid to the agreement between the assumptions made for design and the encountered soil profile. Adequate supervision should always be ensured during foundation construction.

Any backfill shall be compacted to achieve soil characteristics as close as possible to those of the undisturbed soil.

Pile driving shall be recorded and record of pile driving checked against the specified requirements to achieve the required stability.

For foundations driven into the ground with or without preboring, criteria for assessing the capacity of foundations shall be assessed in the installation program. General requirements for supervision of construction are given in EN 1997-1:2004, 7.9 in Europe.

Requirements for execution of bored piles are given in EN 1536, for displacement piles in EN 12699 and for ground anchors in EN 1537 in Europe.

The results of supervision, monitoring and maintenance activities should be compiled in a report as an addendum to the Geotechnical Design Report, confirming that the construction and installation has been made in accordance with given requirements. If there are divergences that might affect the behaviour of the foundations they should be reported and the possible effects analysed in the addendum.

7 Component requirements

7.1 General

7.1.1 Design life

Under normal operating conditions the components of the overhead contact line system shall have a design life at least equal to the design life of the system unless stated otherwise by the supplier or by the purchaser (e.g. contact wire).

7.1.2 Component identification

If there are no other requirements in the relevant product standards and the size and shape of the component is large enough, all components shall be marked with a supplier's identification and component identification. The form of marking shall be agreed with the purchaser.

7.1.3 Corrosion and erosion

Surface protection shall be provided on components of ferrous material. The local environmental conditions shall be considered when determining the type and thickness of surface protection. For components made of corrosion resistant materials a surface protection is not necessary.

Additional protection shall be considered for internal strands of ferrous multi-stranded wires (e.g. greasing).

Clamps, splices and other fittings shall not cause any bimetallic corrosion with the conductors with which they are in contact. Consideration shall be given to the risk of water retention so as to reduce the potential for damage during freezing conditions.

Components shall be designed in such a way that the danger of stress corrosion cracking does not occur.

7.2 Supporting assemblies

Supporting assemblies shall be designed to always be clear of the kinematic and swept envelope gauge of the vehicle and the pantograph clearance gauge by a margin specified by system design.

Registration assemblies shall be designed such that

- the stagger of the contact wire and catenary wire are maintained at the registration point within the defined tolerance of the contact wire stagger in relation to the track centre line (refer to 5.14),
- the longitudinal movement of the contact wire and catenary wire caused by temperature variation is accommodated,
- the worst case uplift of the contact wire can be accommodated without causing mechanical fouling of the pantograph and any other part of the registration assembly after allowing for maximum wear and tolerance variation of the pantograph,
- the mass of the moving parts of the registration assembly, including the connections to the contact wire and registration arm or supporting assembly, shall be kept to a minimum to achieve the specified current collection quality.

7.3 Contact wire

The contact wire shall in Europe conform to the requirements of EN 50149 and in China to the requirements of TB/T 2809-2005.

7.4 Other conductors and ropes

Stranded conductors shall in Europe conform to the requirements of EN 50182 (for ACSR and AACSR stranded conductors) or to other relevant standards, depending on the types of conductors. Synthetic ropes shall in Europe conform to EN 50345. For all other types of wires or in non-European countries, the relevant international or national standards should be conformed to.

Where grease is used for the strands of the conductors, this shall be chosen so as to not have a melting point under the maximum temperature rise of the conductor (as determined in 5.1.2).

Design loads shall be in accordance with the requirements of Clause 5.

7.5 Tensioning devices

The tensioning device shall maintain the mechanical tension in the overhead contact line conductor(s) as defined in the purchaser specification. The device shall be designed to achieve an efficiency defined in the purchaser specification over the specified design temperature range of the equipment.

Particular attention shall be given to the corrosion protection of any bearing arrangements in tensioning devices and suitable maintenance instructions made available to maintain the design efficiency of the tensioning arrangement.

Where weights are used in the tensioning devices, these shall be located away from publicly accessible areas. Where this cannot be achieved, suitable precautions shall be taken to ensure public safety is maintained. Safety of public shall be ensured by using a specific device, such as a protection barrier or a fall arresting device.

The fall arresting device shall function correctly without permanent deformation at a load of 1,33 times the maximum permissible operational load.

To ensure that the tensioning device does not fail in the case of an incident, the breaking load of the tensioning device shall be higher than the breaking load of the tensioned conductor.

7.6 Mechanical midpoints

7.6.1 General

Fixed anchor points, restraints or other devices shall be used in a tension length of overhead contact line that are tensioned automatically at both ends, to ensure the conductors do not migrate towards one end of the tension length with changes in the loading conditions. This may be provided for by the installation of an anchoring arrangement at approximately the midpoint of the tension length or at such a location which balances the along track forces at the midpoint.

Fixed points are not required to prevent consequential damage to the overhead contact line system in the event of conductor breakage, unless stated in the purchaser specification.

7.6.2 Catenary wire fixed points

The design of the catenary wire fixed point shall take into account the different tension loads of either the catenary wire or the contact wire. The highest value shall be applied.

For cantilevers, the fixed point shall be designed to prevent movement of the cantilever. For headspans, measures shall be taken to ensure the upper cross-span wires can withstand the required longitudinal load.

For example, several adjacent headspans may act as the fixed point.

7.6.3 Contact wire fixed points

If a contact wire fixed point is required, this can be achieved in several ways. For example, the contact wire is connected to the catenary wire by a conductor installed close to the catenary wire fixed point. Thus, the contact wire is fixed in its position along the track.

The design of the contact wire fixed point shall take into account the difference of the operating tensioning forces of the contact wire on both sides of the fixed points.

7.7 Droppers

7.7.1 Mechanical requirements

Droppers can be rigid, flexible or sliding. The different types shall withstand the loads, as defined in the purchaser specification, without an adverse effect on the performance of the dropper over the life-cycle of the system.

The factor of safety for the complete dropper shall be 2,5 for vertical and 1,5 for horizontal working loads.

The following service loads shall be considered in the design of droppers:

- vertical loads resulting from contact wire weight, ice loads, wind loads and loads coming from the contact wire profile;
- horizontal loads in the axis of the contact wire coming from a dropper inclination of up to 30°;
- dynamic loads coming from vibration, dropper buckling, etc.

In addition to the service loads, the following additional loads shall be considered:

- loads during construction;
- temporary loads coming from failures (e.g. the failure of an adjacent dropper).

Where these additional loads are greater than 2,5 times the service loads, they shall be used for the design of the dropper, in place of the service loads. Additional loads less than 2,5 times the service load may be ignored.

Loads imposed by staff standing on or attaching to the contact wire need not be considered.

7.7.2 Electrical requirements

Droppers may be defined as current carrying, non-current carrying or insulating.

Current carrying droppers shall be designed to allow for current to flow between the contact and catenary wires. Electrical design shall take into account the current distribution between the droppers in at least one span. A short-circuit close to one single dropper could cause a very high short-circuit current in the dropper. Under these circumstances, the dropper is not required to be short-circuit proof.

Non-current carrying droppers are not designed to carry current. However, in the event of a potential difference being present across the dropper, current can flow. Should current flow be restricted by design, insulated droppers are required.

7.8 Clamps and line fittings

7.8.1 Mechanical requirements

Anchoring clamps should be capable of securing cables and wires with a minimum of 2,5 times the working load or with 85 % of the calculated breaking load of the conductors. The lower value shall be attained in any case. The anchoring clamps used shall not incur permanent deformations which impair operation at 1,33 times the working load.

Other clamps and line fittings shall have a factor of safety of 2,5 times the working load. Clamps and line fittings subject to vibration shall be designed to prevent loosening over time. In addition, the mass of in-line fittings should be kept to a minimum, within the functional requirement of the component.

These values give the minimum requirements which can be increased by national regulations.

7.8.2 Electrical requirements

Clamps and line fittings shall provide a path for the specified normal and short-circuit current flow without causing failure.

7.9 Electrical connectors

Electrical connectors (not including current carrying droppers) shall have the following characteristics:

- be able to sustain thermal load cycling with no reduction in mechanical and electrical integrity;
- the temperature rise with the specified short-circuit current shall not cause fusion or deformation or exceed the maximum allowable temperature of the wire in Table 1 (not including current carrying droppers);
- the temperature at normal operation of the electrical connector shall not exceed the maximum allowable temperature of the conductor.

7.10 Insulators

The following standards specify requirements for the design of insulators used most in overhead contact line systems.

For ceramic or glass insulator units:

- IEC 60071 (all parts);
- IEC 60305;
- IEC 60672-1;
- IEC 60672-3;
- IEC 60433.

For composite insulators:

- IEC 62621.

For post insulators:

- IEC 60273.

Where other designs are required, their functional requirements shall be contained in the purchaser specification.

Values for the creepage distances necessary for different pollution levels are specified in IEC 62497-1, for the rated insulation voltage of the overhead contact line system.

7.11 Sectioning devices

7.11.1 Definition

The term “sectioning device” refers to section insulators and neutral section insulators.

7.11.2 Mechanical requirements

The sectioning device shall be designed such that no permanent or temporary deformation with negative influence on function shall appear up to 1,33 times the working tensile load. When traversed by a pantograph at the operational speed as defined in 5.2.5, the contact forces shall comply with 5.2.4.2. In addition, the sectioning device shall not damage the pantograph collector strip.

For requirements for tension clamps in sectioning devices, refer to 7.8.1.

7.11.3 Electrical requirements

The insulators in the sectioning device shall comply with the electrical requirements set out in 7.10. If the pantograph runs on the insulating components, the possible carbon or metal deposition from the pantograph shall be taken into account.

A section insulator shall be designed to withstand arcing caused by the passing of pantographs in normal operation conditions and in emergency conditions when a pantograph runs in neutral or earthed sections with no reduction in its mechanical integrity dangerous for operation.

7.12 Disconnectors and drives

Together with the drives and linkages to be installed, disconnectors shall comply with the requirements for d.c. disconnectors stipulated in IEC 61992-4 and for a.c. disconnectors stipulated in IEC 62505-2. They shall be designed for the rated current and rated voltage of the system.

Disconnectors shall be suited to interrupt rated operational currents for a number of switching cycles if determined in the purchaser specification.

Disconnectors shall be capable of opening and closing either with no load or with specified currents. The purchaser shall specify the required load-breaking and load-making capacity and the mechanical and electrical endurance.

The interruption of current can cause arcs. Disconnectors shall be arranged in such a way that arcing does not damage other parts of the installation.

7.13 Protection devices

7.13.1 Covers and obstacles

Insulated covers may be required, sufficient to provide mechanical protection against damage or electrical insulation suitable for application in the overhead contact lines. Clearances for obstacles are given in IEC 62128-1.

7.13.2 Surge protection devices

Protection devices, such as surge arrestors and spark gaps, shall be designed for the corresponding rated current of the system and voltage, where relevant. Where specified as load breaking switches, they shall be capable of breaking the rated current. The devices shall comply with the requirements shown in IEC 62128 (all parts), IEC 61992 (all parts), IEC 62497 (all parts), IEC 62505 (all parts) and IEC 60099 (all parts).

7.14 Specific components for trolleybus systems

7.14.1 General

The performance parameters for the design of components for trolleybus systems shall be defined in the system design, in terms of its mechanical and electrical requirements.

In particular, the following shall be taken into account:

- the mass of moving parts, including the connections to the contact wire, shall be kept to a minimum to achieve a good current collection quality, without interrupting the current flow to the trolleybus;

- the mechanical characteristics, including their weight, of assemblies and components shall enable them to be suspended using insulating or steel rope to supporting structures;
- the electrical parameters shall consider the possible activation of these components by current impulse or “wireless” systems, such as radio-frequency or infrared.

7.14.2 Turnouts and crossings

7.14.2.1 Mechanical requirements

Components for turnouts and crossings shall be designed so that no permanent or temporary deformation appears at 1,5 times the maximum working tensile load.

No damage shall occur to the current collector head during the passage of the trolleybus under the turnout or crossing at the maximum speed defined between the supplier and the purchaser.

7.14.2.2 Electrical requirements

The level of insulation of trolleybus turnouts shall be as defined in IEC 62497-1.

When the command system of the turnout has a different supply voltage (e.g. a.c./d.c. low voltage), the level of insulation required shall be as defined in IEC 60947-1.

8 Testing

8.1 General

Component tests comprise three different types; type tests, random sample tests and routine tests.

Type tests are intended to establish design characteristics. They are normally only made once and repeated only when the design or the material of the component is changed. The results of type tests are recorded as evidence of compliance with design requirements. If there is a group of similar components it shall be sufficient for the type test to be performed on one kind of component of the group.

Random sample tests serve for monitoring production. If statistical quality tests are performed for monitoring production, it is permissible for their results to be used as a substitute for acceptance.

Routine tests are intended to prove conformance of components with increased probability of failure to specific requirements and are made on every component. The tests shall not damage the component. After a positive test, the tested specimen may be used in an installation.

A routine test should be used to detect latent defects which could influence the operating reliability of the component. Routine tests take the form of load tests, magnetic crack tests, ultrasonic tests, X-rays, resistance and insulation tests or other non-destructive test methods.

8.2 Support assemblies

8.2.1 Type test

8.2.1.1 Coverage

At least four test specimens shall be selected. All components or clamps that are selected to type testing shall not be used for other tests or in service application.

The following tests shall be undertaken:

- material test;
- dimension and visual test;
- functional test;
- test of mechanical load capacity;
- heat cycling test.

All test conditions, test arrangements and test results shall be recorded in a test report.

8.2.1.2 Material verification

Type tests shall include verification of materials to ensure that they are in accordance with the contract documents. This verification can be carried out by inspecting documentation relating to material purchasing specifications, certificates of conformity or other quality documentation.

8.2.1.3 Verification of dimension and visual test

Functional dimensions given in the drawing shall be measured on the samples. A visual examination shall include a check for the general condition and the surface of the sample for cracks, sink marks, inadmissible burrs or flashes, etc.

8.2.1.4 Functional test

Samples shall be assembled according to the supplier's instructions, using all necessary connecting parts. Bolts shall be tightened to 1,1 times the tightening torque stated by the supplier or by national requirements. If no torque values are stated, bolts shall be tightened to 1,1 times the torque stated in Table 19. The relevant functional dimensions shall be checked. No permanent deformation shall be permitted unless it is intended to do so by design.

The tightening torque to be applied corresponds to the lower limit of friction variability of a certain bolt.

A lower coefficient of friction of $\mu_{\text{tot}} = 0,1$ or 0,12 can be assumed for example for the bolt connections listed in Table 20.

Pairings according to Table 21 are recommended when bolts with hexagonal nuts are used.

Table 19 – Tightening torques M_t for regularly used bolts

Torques in Newtonmetres

Thread dimensions	Material of the bolts					
	Unalloyed and alloyed steels according to ISO 898-1 hot dip galvanized (tZn)			Rust and acid resistant steels steel groups A2 and A4		Copper-nickel alloy CU5
	Strength class			Strength class		
	4.6	5.6	8.8	70	80	
$R_{p\ 0,2\ min} =$			$R_{p\ 0,2\ min} =$		$R_{p\ 0,2\ min} =$	
240 N/mm ²	300 N/mm ²	640 N/mm ² ^a	450 N/mm ²	600 N/mm ²	540 N/mm ²	
M8	-	-	23	16	22	20
M10	-	-	46	32	43	39
M12	25	38	80	56	75	68
M16	60	90	195	135	180	165
M20	120	180	390	280	370	330

NOTE The values in this table were established using the following assumptions:

- the bolt can be stressed up to its guaranteed minimum yield point;
- the tightening torques are based on a coefficient of friction for threads and head support of $\mu_{tot} = 0,12$;
- a deviation of 10 % when applying the tightening torque is already taken into account in the table values:
 $M_{t\ Table} = 0,9 M_{t\ max}$
where
 $M_{t\ max}$ is the tightening torque for stressing up to the guaranteed minimum yield point;
- the tightening torques for bolts made of rust and acid resistant steels of the strength classes 70 and 80 are based on the 0,2 % yield point.

^a Above M16: 660 N/mm².

Table 20 – Examples of bolt connections

Bolt	Nut	Head support	Lubricant	Coefficient of friction μ_{tot}
Steel annealing black or zinc-phosphate	Steel bright	Steel machined	Oil	0,12
A2/A4	A2/A4	A2/A4	S	0,12
A2/A4	Al alloy	A2/A4	S	0,12
Steel hot dip galvanized	Al alloy	A2/A4	K	0,12
Steel hot dip galvanized	A2/A4	A2/A4	K	0,12
Steel hot dip galvanized	Steel hot dip galvanized	A2/A4	K	0,10
CU5	CU5 or copper	A2/A4	K, S	0,12

Key
A2/A4 rust and acid resistant steel steel groups A2 and A4
CU5 copper-nickel alloy
S special lubricant
K corrosion protection grease

For coefficients of friction other than $\mu_{tot} = 0,12$ the tightening torques stated in Table 19 shall be converted according to the factors given in Table 22.

Table 21 – Assignment of the strength of bolt and nut

Strength class of the bolt	Strength class of the nut
4.6 ^a	5 ^b
5.6 ^a	5 ^b
8.8 ^a	8 ^b
A2/A4, strength class 70	A2/A4 – 70
A2/A4, strength class 80	A2/A4 – 80
CU5	CU5
(CuNi 1,5 Si F 59)	(CuNi 1,5 Si F 59)
^a According to ISO 898-1. ^b According to ISO 898-2 and EN 20898-2 in Europe.	

Table 22 – Conversion factor for tightening torques

Coefficient of friction μ_{tot}	Conversion factor MA
0,08	0,77
0,10	0,89
0,12	1,00
0,14	1,10
0,16	1,18
0,20	1,33
0,25	1,47
0,30	1,57

8.2.1.5 Mechanical load capacity test

8.2.1.5.1 Components

Accessory parts for insulators and supporting assemblies are tensioned or compressed in the tensile testing machine using corresponding tensioning parts so that loading as close as possible to operation is achieved. These tensioning parts shall not influence the test result. In the case of components with several load points per load side, it shall be ensured that the forces are distributed accurately in every condition to represent the real load conditions.

The test specimens shall be loaded with a constantly and smoothly increasing load up to the maximum force F_{max} . The rate of change shall be 5 N/mm² per second to 10 N/mm² per second, related to the conductor cross-section. A force-elongation or force-time diagram shall be made at the same time. This diagram can be derived either by the test machine itself or by measuring by means of suitable instruments at different load stages. From the force-elongation diagram, it shall be possible to determine the force in the transition from the elastic into the plastic range.

For components, the following characteristics shall be determined:

- the test specimen shall be able to withstand 1,33 times the operational force without a permanent deformation occurring;
- the failure load F_{max} of the test specimen;
- the nature and location of failure on the test specimen.

All values shall be recorded in test reports together with the characteristic data for the test specimens, such as material, material condition, type of processing, surface condition etc. The test data shall be used for determining the nominal force F_{nom} or permissible operating force $F_{perm.op}$. The maximum force F_{max} of the test specimen shall be equal to or greater than the required nominal force F_{nom} or the force specified in the appropriate standards or drawings.

8.2.1.5.2 Clamps

Accessory parts for conductors, anchor cables and wires are assembled with the intended conductors corresponding to the assembly instructions and inserted in the testing machine using suitable clamping parts. For compression clamps it shall be ensured that conductor strands are not distorted from their intended alignment ('bird caging'), resulting in an uneven stress distribution in the conductor. For bolted clamps the bolts are tightened with a tightening torque corresponding to 8.2.1.4, Table 19 or the data provided by the supplier.

The tensile force shall be increased to 1,33 times the permissible operating force $F_{perm.op}$ and held for the duration of 1 min. Marks shall be applied at the exit of the conductor from the test specimen for observing possible slippage. The force shall be increased constantly with a load change of 5 N/mm² per second to 10 N/mm² per second, related to the conductor cross-section up to the maximum force F_{max} or up to destruction of the component. For suspension clamps the maximum force F_{max} in the direction of the force effective in operation (weight force of the conductor and additional loads) shall be determined.

For accessory parts to conductors, the following results shall be determined:

- force when the conductor starts to slip in the clamp;
- maximum force F_{max} of slipping through or breaking of the conductor in the area of influence of the clamp;
- functional defects of the clamp.

For stranded conductors the first wire break shall be considered as a breakage of the conductor.

For suspension clamps, the maximum force F_{max} in the direction of the force effective in operation (weight of the conductor and additional loads) shall be determined.

8.2.1.6 Heat cycling tests (Electrical tests)

8.2.1.6.1 Object of the test

Heat cycling tests are used to determine the long-term electrical behaviour of current-conducting connections.

This section does not apply to:

- terminals which are inherent parts of an equipment,
- fittings which are used in enclosed units (e.g. motor-operated mechanism),
- installation material and earthing terminals,
- clamps which are mainly used for mechanical purposes (e.g. dropper clamps).

8.2.1.6.2 Connections

8.2.1.6.2.1 General

The current carrying connections can be divided into two main groups for tensile strength:

- connections designed to withstand tensile stress;
- connections which are not designed to withstand tensile stress.

8.2.1.6.2.2 Temperature rise in conductors

The heat cycling test has the following maximum permissible operating temperatures:

- temperature with continuous current (refer to Table 1);
- temperature at short-circuit current in accordance with IEC 61284.

If, in exceptional cases, a connection is designed for higher temperatures than those defined above, the test temperatures shall be suitably modified.

8.2.1.6.2.3 Subdivision for test purposes

Since all possible applications of connections cannot be clearly identified, two classes of connections are defined for test purposes:

- Class A: the connections are subjected only to electrical heat cycling tests. Connections which can withstand tensile stress are typically Class A connections;
- Class B: the connections are subjected to electrical heat cycling tests and short-circuit peak withstand current test. Connections which cannot withstand tensile stress are typical Class B connections.

In the case of Class A connections, the short-circuit peak withstand current test is not required since the mechanical design is sufficiently robust so that this test is not necessary.

8.2.1.6.3 Test specimens

Four specimens of each type of connection shall be subjected to the tests. The specimens supplied for testing shall be identical to the commercially available products.

8.2.1.6.4 Variable diameter connectors

Clamps for the largest conductor cross-section shall be used for the tests. If bolts of different materials are used, the test specimens shall be fitted with bolts having the lowest conductivity.

8.2.1.6.5 Preparation of specimens

The contact surfaces of the fitting and the conductor shall be prepared according to the supplier's instructions. The fittings shall be fitted on the specified type and size of conductor according to the supplier's instructions with which they are to be used without any further preparation.

It is not permitted to subsequently tighten or press the fitting during the test.

The following technical details of the test specimens and the conductors shall be recorded before carrying out a test:

- Clamps and fittings:
 - supplier, catalogue or reference number;
 - class of connection: A or B;
 - installation procedures: preparation of contact surfaces, contact grease (if specified), details of fitting procedures and tools to be used.
- Conductor:
 - specification;
 - material;
 - size and stranding.

8.2.1.6.6 Test rules

8.2.1.6.6.1 Test conditions

The test shall be carried out in suitable draught-free conditions at an ambient temperature between 15 °C and 35 °C.

The test set-up shall ensure there is a sufficient distance between the test connections and other connections in order to ensure that the mutual thermal influence is negligible. The test arrangement shall be supported in such a manner that there is free air circulation and cooling by natural convection.

If forced cooling is used, it shall be used after switching off the current, and it shall have a uniform effect on the complete set-up.

The test set-up shall be such that the specimens are not subjected to any noticeable mechanical stress (bending, tension, pressure, etc.) during the electrical test. For this reason, it is recommended that the position of the specimens is not changed during the tests.

New conductors shall be used for the tests and for arrangements with tension on the connection. The tensile force should not exceed 20 % of the nominal tensile strength of the main conductor.

8.2.1.6.6.2 Arrangement of test specimens and the test loop

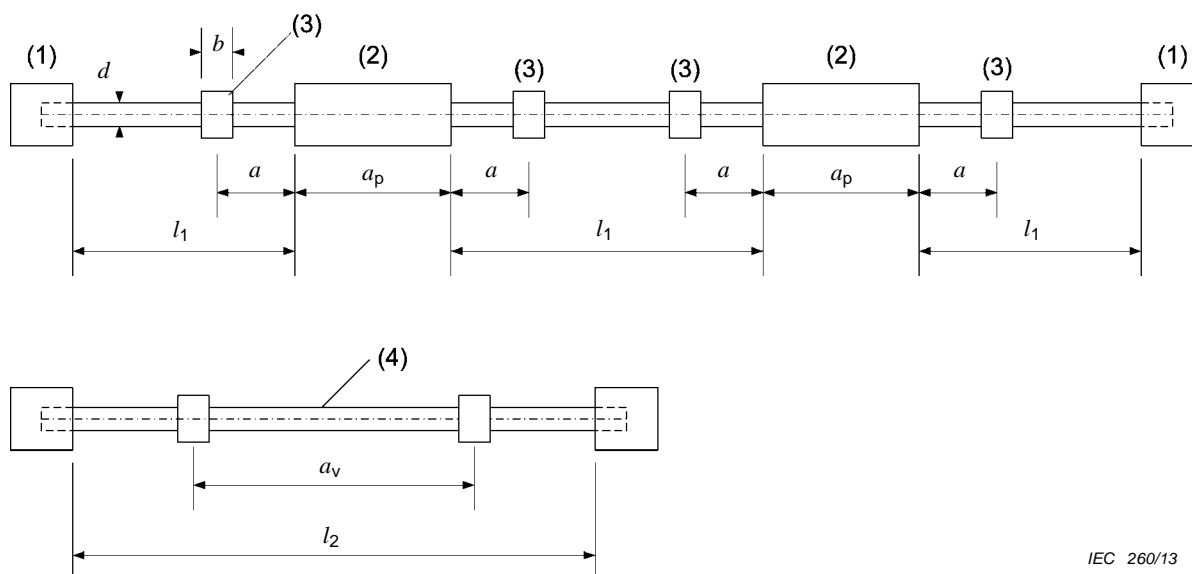
The arrangement of the test specimens during the electrical tests is not mandated. However, it is recommended that the tests are carried out in the horizontal position.

Typical arrangements of the test loop are shown in Figure 5. Alternative arrangements can be found in IEC 61284, Annexes B and C.

In the case of T-connections, both the current paths shall be tested separately.

8.2.1.6.6.3 Free conductor length

The free conductor length l_1 (refer to Figure 5) between the clamping pieces and the test specimens as well as between the specimens themselves and the length l_2 of the comparison conductor should not be less than the values given in Table 23.



IEC 260/13

Key

(1) clamping piece

(2) test specimen

(3) potential points

(4) comparison conductor

a length of conductor between specimen and centre of potential point; $a \cong 15d$

a_p length of specimen

a_v length of comparison conductor between centres of potential points; $a_v \cong 30d+a$

b length of potential points; $b \leq 2d$

d diameter of conductor

l_1 minimum length between specimen and clamping piece and between specimens as per Table 23

l_2 minimum length of comparison conductor as per Table 23

Figure 5 – Description of dimensions and minimum conductor lengths

Table 23 – Minimum conductor lengths

Conductor diameter d mm	l_1 m	l_2 m
$d \leq 10$	0,5	2,0
$10 < d \leq 15$	0,8	2,0
$15 < d \leq 25$	1,2	2,0
$25 < d \leq 43$	1,5	2,0
$43 < d \leq 63$	2,0	2,5
$63 < d$	2,0	3,0

NOTE The conductor diameter for a shaped conductor is the diameter of the circle which surrounds the conductor.

In the case of stranded conductors care shall be taken to ensure that the current is uniformly fed over the complete cross-section.

8.2.1.6.6.4 Comparison conductor

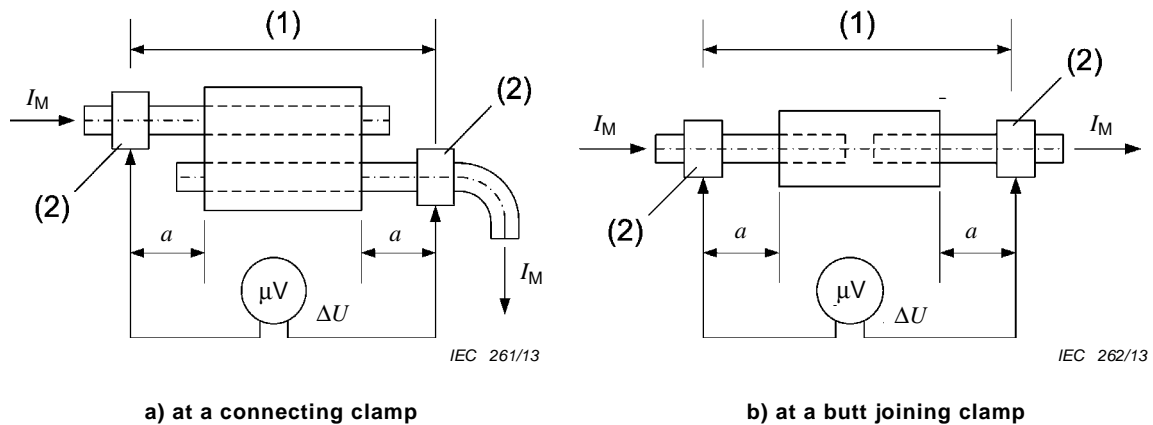
For the comparison of temperature and resistance values during the temperature and resistance measurements, the test set-up shall include one uncut conductor. If a clamp is used to connect two conductors of different sizes, the smaller of the two shall be used as the comparison conductor.

8.2.1.6.6.5 Potential measuring points

In the case of stranded conductors, the points for measuring the voltage ΔU are always at the potential points (Figure 5 to Figure 7). In the case of solid conductors, the measuring points should be as close as possible to the test specimen without making contact with the specimen. The voltage is picked up using either measuring probes or fixed connections. The point of voltage pickup shall be clearly marked.

For an example of a method of making a practical voltage pickup, refer to IEC 61284, Annex G.

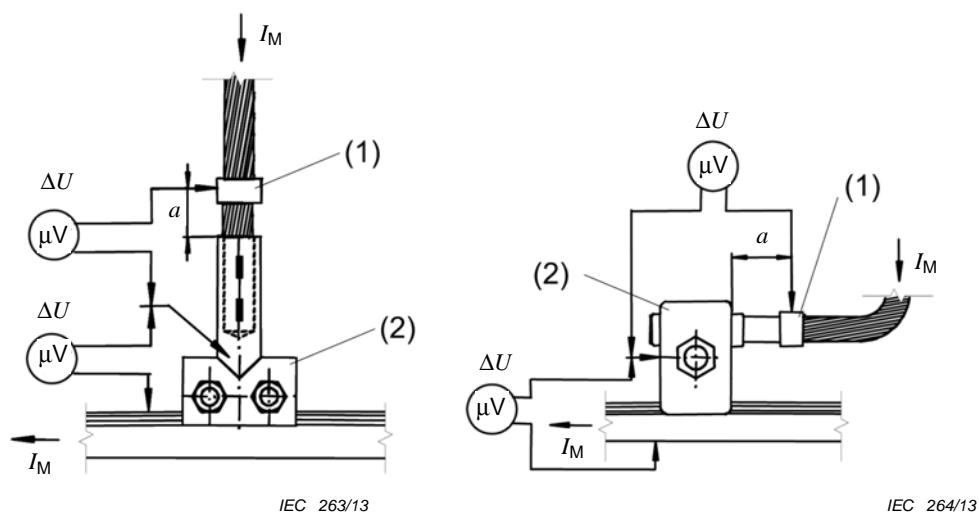
Other commonly used methods may also be used.



Key

- (1) measurement distance
- (2) potential points

Figure 6 – Potential measuring points at a connecting clamp and a butt joining clamp



Key

- (1) potential points
- (2) test specimen

Figure 7 – Potential measuring points at a T-type infed terminal

Heat cycling tests shall be carried out in accordance with IEC 61284.

8.2.2 Random sample test

8.2.2.1 Number of test specimens

Random sample tests shall be performed only if a sufficient quantity of components is made, typically more than 100 of the same components. The number of the test specimens for the random sample test, p , shall be in accordance with the following formulae.

$$p = 3 \quad \text{for} \quad 100 < n \leq 500$$

$$p = 4 + \frac{n}{1000} \quad \text{for} \quad 500 < n \leq 20\,000$$

$$p = 15 + \frac{0,5n}{1000} \quad \text{for} \quad n > 20\,000$$

where

n is the batch size.

8.2.2.2 Selecting the test specimens and repeat tests

The test specimens are selected arbitrarily from the batch. If the specimens pass the random sample test, then the batch shall be accepted. If one test specimen does not pass the random sample test, the test shall be repeated but with twice the number of samples selected from the same batch. If all the new test specimens pass the tests, then the batch shall be accepted. If any test specimen fails the random sample test then the batch shall be rejected. Test specimens subjected to the random sample test shall not be used for further testing or in service.

8.2.2.3 Material verification

Sample tests shall include verification of materials to ensure that they are in accordance with contract documents. This verification shall normally be carried out by inspecting the documentation relative to material purchasing specifications, certificates of conformity or other quality documentation.

8.2.2.4 Verification of dimensions and visual test

To take account of the influence of variations in dimension and strength on the mechanical characteristics of the components, the dimensions influencing the characteristics according to 8.2.1.3 are determined on all inspected specimens. All values shall be recorded in the test report.

The critical dimensions important for correct function shall agree with the values determined in the appropriate standards and supplier's drawings.

Sample tests shall include visual examination to ascertain conformity of the components, in all essential respects, with the design drawings.

8.2.2.5 Functional test

The functional test may be performed in accordance with 8.2.1.4. The components or clamps shall be assembled according to the supplier's assembly instructions. Existing bolts shall be tightened to 1,1 times the tightening torques stated in Table 19. The critical dimensions for correct function shall be checked.

No defects impairing the function of the components or clamps are acceptable. Deformation intended in the design is acceptable if it does not impair the function.

8.2.2.6 Tensile test

Refer to 8.2.1.5 for the tensile test requirements with the following differences.

The test specimens are initially loaded with a load speed of 5 N/mm² per second to 10 N/mm² per second, related to the conductor cross-section, constantly and smoothly up to a force amounting to the permissible operating force $F_{\text{perm.op}}$ multiplied by the determined rating factor, and the remaining shape change shall be determined. This shall be done either on a force-distance diagram or by checking the connection dimensions after relaxation and removal of the test specimens. The test specimen shall be then reloaded with the same load speed up to the maximum force F_{max} or up to failure of the component.

8.2.2.7 Evaluation of the test for components

All test values shall be recorded in the test report and statistically evaluated.

In the case of accessory parts for insulators and support assemblies the following characteristics shall be determined:

- the component shall not have a permanent deformation which affects its functionality after applying a load of 1,33 times the operating load;
- the maximum force F_{max} ;
- the nature and place of failure of the test specimen, e.g. rupture, shape change, etc.

The force at which a deformation impairs the function shall be greater than the permissible operating force $F_{\text{perm.op}}$ required for the component. The maximum force F_{max} of the test specimen shall be equal to or greater than the required nominal force F_{nom} or that specified in the appropriate standards or drawings.

8.2.2.8 Evaluation of the test for clamps

Refer to 8.2.1.5.2 for the evaluation, supported by the following paragraph.

The force at which a permanent deformation occurs, which affects the correct function of the test specimen, shall be greater than 1,33 times the permissible operating force $F_{\text{perm.op}}$ required for the corresponding component. The maximum force F_{max} of the test specimen shall be equal to or greater than the required nominal force F_{nom} or that determined in the appropriate standards or drawings.

8.2.3 Routine test

Where specified, every component of a production series shall be subjected to a routine test.

Routine tests may include a specified level of material verification (including tests) where required by the contract quality plan.

Load tests shall be carried out in conditions similar to normal operation conditions and loaded by the routine test force. Initial cracks or fractures shall not occur on the test specimens once the routine test force is reached.

8.3 Contact wires

In Europe, refer to EN 50149 and in China to TB/T 2809-2005 for requirements for testing contact wires.

8.4 Other conductors

Wires or conductors shall comply with appropriate International Standards or if they are not available, with European Standards in Europe or National Standards in non-European countries. The following documents are usually applied in Europe and in other countries:

- EN 50182;
- EN 50183;
- EN 50189;
- EN 50326;
- EN 50345;
- IEC 60889;
- IEC 61089;
- IEC 61232.

In China, the following documents are usually applied:

- GB/T 1179-2008
- TB/T 3111-2005

There are presently no International or European Standards for copper and bronze stranded conductors. Reference to National Standards should be made for these types of conductor.

8.5 Tensioning devices

8.5.1 Tests required

Only type tests are required for tensioning devices.

8.5.2 Type tests for tensioning devices with balance weights

8.5.2.1 Tensile test

The tension device shall be tested in accordance with the requirements given in 7.5.

8.5.2.2 Dynamic test

Where applicable, the test of the fall arresting device consists of a simulated breaking of the conductor with the specified mechanical tension under laboratory conditions as specified by purchaser.

8.5.2.3 Efficiency test

In accordance with the test shown in Figure 8, the mechanical efficiency of the tensioning device shall be determined. The test shall be undertaken with the following considerations:

- wind and ice load shall not be taken into account;
- at least four tests shall be performed on four locations evenly distributed at least over one rotation of one of the wheels or a quarter of the complete range of movement, firstly in one direction of rotation, then in the opposite direction.

The deviation of the tension of the conductor(s) shall be recorded and comply with the values given by the supplier.

The efficiency can be determined by the following formula:

$$E = \frac{T}{W \times r} \quad (21)$$

where

T is the mechanical tension of the conductor (N) (see Figure 8);

W is the load of the balance weight (N) (see Figure 8);

r is the reducing ratio of the tensioning device.

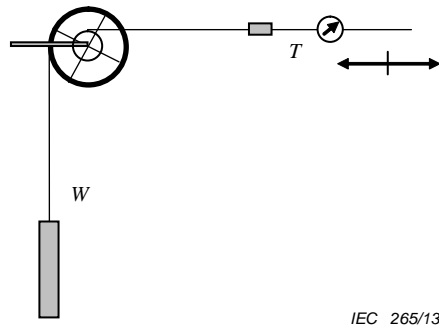


Figure 8 – Example of a tensioning device measurement test

If a field test is performed in cooperation with the purchaser on a comparable overhead contact line, the field test results may replace the efficiency test above. The field test shall run continuously, with a minimum duration of one year.

8.5.3 Type tests for tensioning device without balance weight

8.5.3.1 Tensile tests

Refer to 8.5.2.1 for tensile tests.

8.5.3.2 Efficiency tests

The mechanical efficiency of the tensioning device shall be determined. In order to perform this test, the following assumptions may be made:

- wind and ice load need not be taken into account;
- the efficiency shall be measured on four locations evenly distributed over the complete range of movement, one direction first, and then the other direction;
- if the tensioning device is intended to be used under ice conditions the efficiency test shall be performed under such conditions.

The deviation of the tension of the conductor or wire(s) shall remain within the specified range throughout the required range of temperature.

If a field test is performed in cooperation with the purchaser on a comparable overhead contact line, the field test results may replace the efficiency test above. The field test shall run continuously, with a minimum duration of one year.

8.6 Mechanical midpoints

The testing procedures for any clamps, wires, termination fittings and insulators that constitute the mechanical midpoint assembly shall comply with the appropriate and specific requirements related to the component in Clause 8 of this standard.

8.7 Droppers

8.7.1 Tests required

Only type tests are required for droppers.

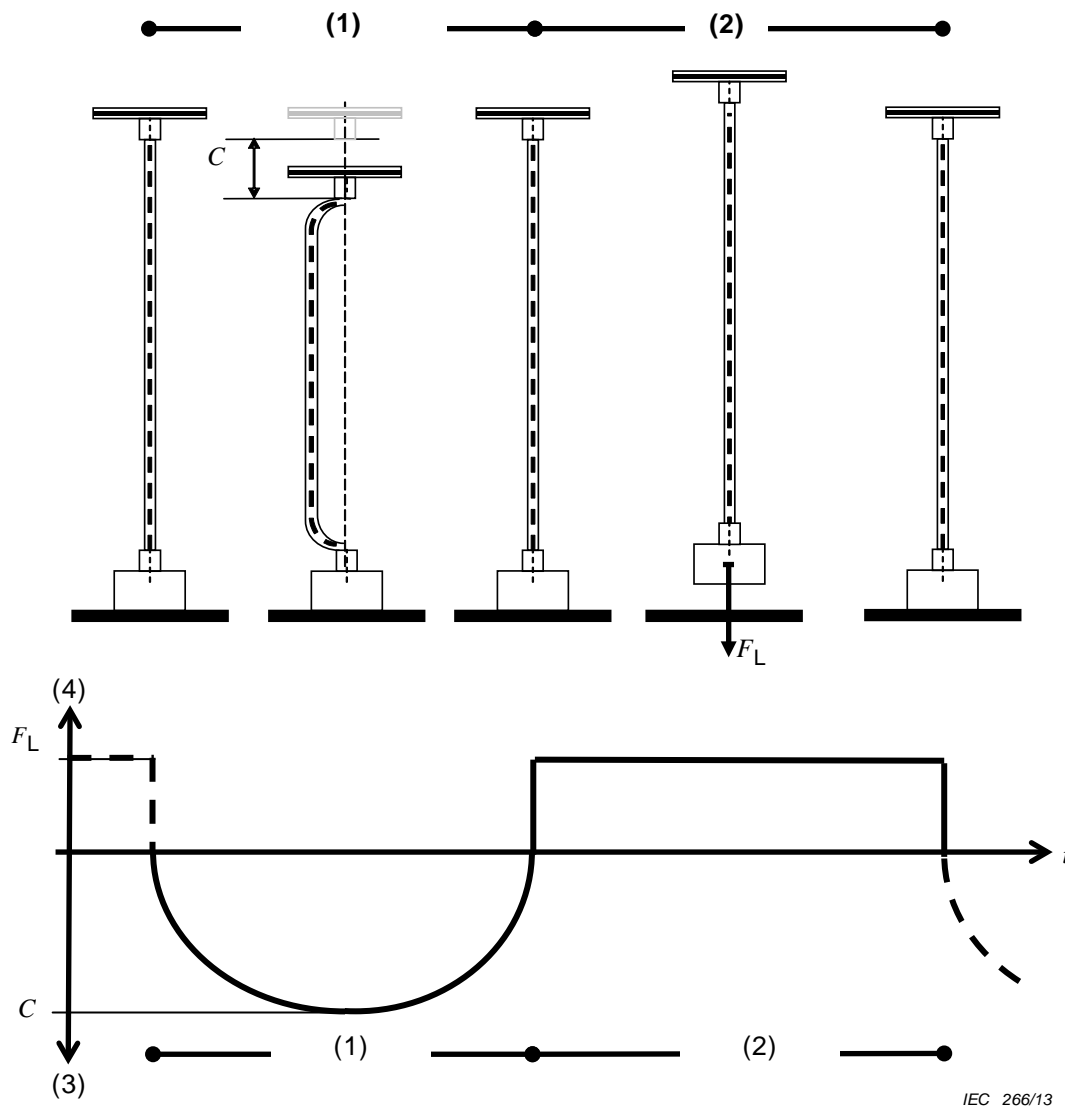
8.7.2 Mechanical fatigue test

This test consists of an alternate load and compression cycle, as shown in Figure 9. The droppers shall be tested with their specific clamping devices. The test parameters shall be defined within the range given below taking into account the operational conditions and the different types of contact line design.

The compression distance shall be specified, between 20 mm and 200 mm and the force in the dropper shall be specified, between 100 N to 400 N.

The frequency of the cycles shall be between 0,5 Hz and 10 Hz, and a minimum of 2 000 000 cycles shall be performed. The dropper shall not break before the specified number of cycles is exceeded.

For special applications, such as low encumbrance and high uplift locations, the total length and the dimension for compression shall be reconsidered.



IEC 266/13

Key

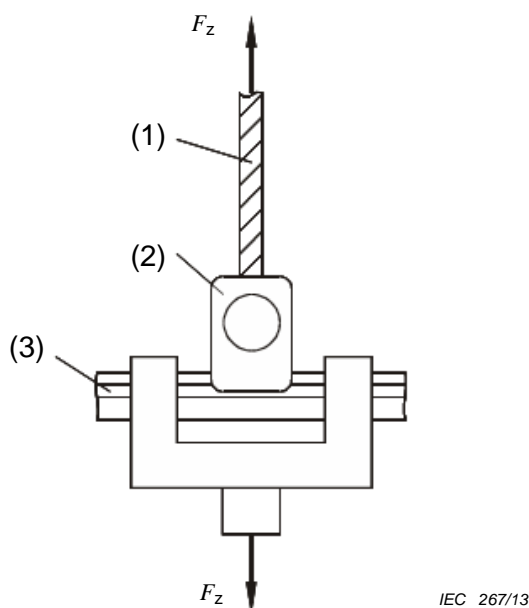
- (1) half-cycle – dropper in compression
- (2) half-cycle – dropper subject to internal force
- (3) compression
- (4) force
- C compression amplitude
- F_L internal force

Figure 9 – Example of a dropper test cycle**8.7.3 Mechanical tests**

The dropper clip shall be installed on the corresponding wire according to the supplier's installation instructions.

For contact and catenary wire clips, separate tests shall be performed for each size of contact wire groove and catenary wire diameter. If the clip is designed for a variable range of contact wire grooves or catenary wire diameters, only the smallest and the largest sizes are required to be tested.

An example of a dropper tension test assembly is given in Figure 10.



Key

- (1) Dropper wire
- (2) Dropper clamp
- (3) Contact wire

Figure 10 – Example of a dropper tension test assembly

The clamp shall not be pulled off until a force of at least 3 kN is reached.

8.8 Clamps, splices and other fittings

Refer to 8.2.

8.9 Electrical connectors

8.9.1 General

The electrical connection includes conductors and clamps. Only type tests are required for electrical connections.

The clamps shall be tested mechanically in accordance with the applicable subclauses in 8.2.1.5. The electrical test of the connection shall comply with 8.2.1.6.

In addition the tests in 8.9.2 shall be performed.

8.9.2 Mechanical fatigue tests

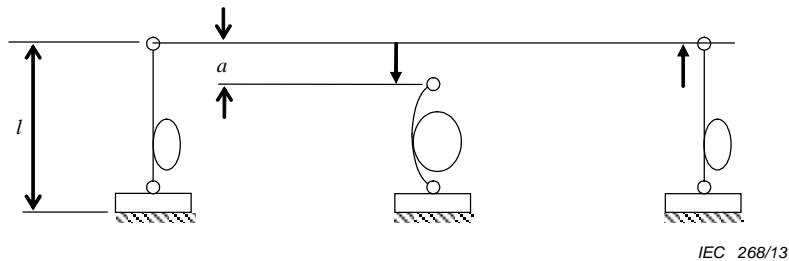
This test is only necessary for electrical connections used on lines with a speed of 160 km/h and higher if they are used at the contact wire. At least three complete electrical connections shall be tested. The test parameters shall be defined within the range given below taking into account the operational conditions and the different type of contact line design.

The following parameters shall be applied:

- the minimum specified length (*l*) of the connection;
- the amplitude (*a*) of the movement shall be up to 100 mm;
- frequency shall be 0,5 Hz to 10 Hz;

– minimum number of cycles shall be 2 000 000.

An example of a test cycle is given in Figure 11. The electrical connection shall not break before the specified number of cycles is exceeded.



Key

- l minimum specified length
 a amplitude

Figure 11 – Example of a test cycle for an electrical connection

8.10 Insulators

Tests shall be carried out in accordance with the following standards.

Ceramic or glass insulator units or strings:

- IEC 60383 (all parts);
- IEC 60672-2;
- IEC/TR 61245 (d.c.);
- IEC 61325 (d.c.).

Composite insulators:

- IEC 61109 (tensile insulators);
- IEC 61952 (insulators in bending).

Post insulators:

- IEC 60168;
- IEC 60660.

Specialised tests can be agreed between the client and supplier as appropriate.

8.11 Sectioning devices

8.11.1 Type test

8.11.1.1 General

Type test certification shall be provided for the design of the sectioning devices verifying the electrical and mechanical parameters; the standards used shall be stated. Testing requirements and type tests shall verify the suitability of the components. Specifications shall be quoted for speed, weight, dimension, clearances and creepage distance, nominal voltage, short-circuit current, permissible working load and breaking load.

The insulating body of the sectioning device shall be tested separately in accordance with 8.10. Clamps and fittings of the sectioning device shall be tested according to 8.2.

The following tests shall be made on the whole sectioning device assembly.

8.11.1.2 Mechanical tests

Mechanical tests shall be carried out when assembled to a contact wire length through which the load will be applied.

The sectioning device shall be fixed in a tensile testing machine and loaded to the specified operational tensile load of the contact wire; the device shall be adjusted so that the runners are in their operational condition. The load shall be increased at a rate of 1 kN/s up to 1,33 times the operational tensile load of the contact wire and held for 1 min. The load shall then be reduced to the operational tensile load of the contact wire. No permanent deformation with negative influence on function may occur.

The tension load shall then be increased at a rate of change of 1 kN/s until a break occurs. The break shall occur at the contact wire.

8.11.1.3 Electrical tests

If required by the purchaser, electrical tests shall be carried out for the sectioning device and the suspension arrangement, in laboratory or under operational conditions. The device need not be loaded with the full mechanical tension.

To establish the insulating capability of the sectioning device, a lightning impulse test and power frequency test in wet and dry conditions according to IEC 60383 (all parts) shall be undertaken. This test may also be used to confirm that the point of flashover for the sectioning device occurs where the designer intended.

In addition, an arcing test shall be performed to ensure that the sectioning device is capable of withstanding the expected levels of arcing without sustaining damage. The sectioning device shall be bridged by a wire at the same position where arcs are likely to be formed.

The current shall be limited to the maximum operational current of the sectioning device, as defined by the supplier. A voltage shall be applied to the sectioning device. The flashover shall occur on the intended parts and be extinguished by the device. The flashover shall not affect the mechanical integrity of the section insulator.

A short-circuit test shall also be performed to ensure that the sectioning device can withstand the flow of short-circuit current without damage. A short-circuit current, of duration and magnitude as defined by the supplier, shall be applied. The effects of the short-circuit current shall not affect the mechanical integrity of the section insulator.

8.11.2 Field test

The electrical test can be replaced by field tests. These tests shall be carried out as agreed between the purchaser and the supplier.

Other tests when specified by the purchaser shall be performed, such as a field test in operation. Should a field test be undertaken, the duration for the test should be one year.

8.11.3 Sample tests

At least 2 % of specimens from each batch shall be tested with the following procedures:

- visual inspection to verify identification marks;
- verification of dimensions and weight, as given by the supplier's drawing.

8.11.4 Routine tests

All sectioning devices shall be subjected to a routine visual inspection.

8.12 Disconnectors and drives

Requirements for type and routine tests for disconnectors, drives and linkages shall be in accordance with the following specifications: IEC 61992-4 for d.c. disconnectors and IEC 62505-2 for a.c. disconnectors (in conjunction with IEC 62271-103 and IEC 62271-102).

- a) IEC 62505-2 is applicable to single-phase a.c. one-pole disconnectors, earthing switches and switches (switch-disconnectors and general-purpose switches) designed for indoor or outdoor fixed installations for operation at frequencies of 16,7 Hz and 50 Hz on traction systems having a rated insulation level above 1 kV up to 52 kV.

IEC 62505-2 is also applicable to two-pole disconnectors, earthing switches and switches (switch-disconnectors and general-purpose switches) connected in the following manner, either:

- one pole supplying the connection to the contact line of the track, the other supplying the connection to the feeder cable which runs alongside the same track and is used to boost the track voltage at regular intervals in combination with auto-transformers or
- the two poles of the disconnector, earthing switch or switch (switch-disconnector or general-purpose switch) are connected in series to provide secure isolation (i.e. two breaks in series).

- b) IEC 61992-4 applies to outdoor d.c. switch-disconnectors, disconnectors and earthing switches for use in outdoor fixed installations of traction systems.

The tests shall be suitable for the rated current and voltage of the system. Specialised tests can be agreed between client and supplier as appropriate.

For routine testing the disconnector and drive shall be tested together on site.

8.13 Surge protection devices

Surge protection devices shall be tested in accordance with IEC 61992-5, IEC 62497-2, IEC 60099-1 and IEC 60099-4.

8.14 Specific components for trolleybus systems

Routine tests shall be performed in a laboratory under normal operating conditions. Alternatively, tests may be performed in service based on agreements between supplier and purchaser.

All turnouts shall be checked by routine tests, in accordance with IEC 61992-1.

Electrical tests, such as dry or wet power voltage frequency tests, shall be performed in accordance with IEC 61992-1 and IEC 60529.

Type tests for turnouts, such as lightning impulse voltage, shall be undertaken in accordance with IEC 61992-1.

8.15 System test

8.15.1 Demonstration of conformity

An overhead contact line “as built” and its design shall be considered to conform with the requirements of this standard if the following are fulfilled.

- The system is designed in accordance with the design requirements of Clause 5. Computer simulation or/and full scale line tests can be prescribed.

- Full-scale line tests form the most adequate means of demonstrating that a newly installed overhead contact line satisfies the quality requirement of this standard for a given running speed. Full-scale line tests shall be carried out on installed equipment using instrumented vehicles/pantographs. The instrumentation shall have a minimal effect on pantograph performance and shall be in accordance with the procedure of the EN 50317 in Europe.
- In the case of d.c. systems, the Overhead Contact Line System shall be tested for the heating effects of trains at standstill using the methodology specified in IEC 62486; the temperature rise of the contact wire shall be measured.
- Computer simulations are suitable for demonstration of the anticipated current collection performance, especially in comparison with existing lines or with other designs. The computer simulation programme shall be validated against physical testing results, in accordance with EN 50318 in Europe.
- The system components are designed in accordance with the requirements of Clause 7 and tested (routine and type test) as prescribed by the European Standards listed in this standard.
- The structures are designed and calculated in accordance with the requirements of Clause 6.

NOTE For information about methods of testing supports, see IEC 60652.

- The electrical and mechanical line parameters fulfil the electrical requirements and both the static (dimensional validation test) and the dynamic (dynamic validation tests) design requirements within the design tolerances.

The conformity assessment of an overhead contact line need only be assessed once. When a system has proven itself elsewhere, the purchaser can consider this to be an acceptable demonstration of conformity.

8.15.2 Acceptance tests

Acceptance of the overhead contact line shall provide assurance that the requirements of the overhead contact line system in the design are reflected in the final installation. Such requirements shall include the following:

- verification that the overhead contact line was built within the given construction tolerances;
- visual and physical inspection, from the ground and inspection car e.g. insulation, position of cantilevers in relation to temperature;
- verification by measurement that the mechanical and electrical clearances conform to the specified design.

8.15.3 Commissioning tests

The electrical integrity of the overhead contact line system shall be established once all previous requirements have been satisfied. The commissioning tests shall ensure all configurations with regard to electrical sectioning are in accordance with the design requirements and shall include the following:

- check that the system conforms to IEC 62128 (all parts);
- the nominal voltage is applied to the overhead contact line in accordance with national regulations;
- electrical section proving test in accordance with national regulations.

Dynamic tests shall be specified by the purchaser depending on the type and scale of the project. Dynamic validation shall be undertaken to ensure compliance with the performance criteria as defined in 5.2.

9 Minimum documentation

9.1 General

Documentation should be provided as described in the following 9.2 to 9.5. Additional documentation may be required by the purchaser specification.

9.2 System specification

The system specification contains the fundamental design and system design data, as described in Clause 4 and Clause 5 respectively. It shall be produced in accordance with the purchaser's specification or if such specification is not available, as a separate system study.

9.3 Basic design

The basic design is based on the system specification and comprises all the relevant system, arrangement, assembly and component drawings.

9.4 Installation design

Installation design is the application of the basic design arrangements to the particular characteristics of the railway line. The result is a set of plans/documents, (e.g.: layout plans, cross-sections, bill of quantities, etc.) which describe and illustrate how the system is assembled.

9.5 Installation and maintenance

General installation and maintenance document which outlines routine maintenance checks, instruction, processes and associated periods, should be provided by the contractor if required by the purchaser.

When specific installation or maintenance is required all necessary documentation shall be provided to the purchaser.

Annex A (informative)

Current-carrying capacity of conductors

The following parameters affect the current carrying capacity of a conductor:

- heat transmission coefficient α ;
- wind speed v_w ;
- permissible final temperature (see Table 1);
- externally applied heat P_{prim} .

In the following Table A.1 the current-carrying capacities for different ambient temperatures are calculated according to 5.1.2 for a wind speed of 1 m/s and a temperature rise caused by solar gain of 1 000 W/m².

Table A.1 – Continuous current-carrying capacity of conductors and contact wires

Type of contact wire and conductor	Conductor temperature °C	Current-carrying capacity dependent of the ambient temperature A							
		–30 °C	–20 °C	–10 °C	0 °C	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C
CuMg AC-100	80	624	593	561	527	490	450	407	358
Cu AC-100	70	751	711	666	619	569	513	451	378
CuAg AC-100	80	778	740	700	657	611	562	507	446
Cu AC-107	70	782	739	693	645	592	534	469	393
CuMg AC-120	80	702	668	631	593	551	507	457	402
Cu AC-120	70	845	798	749	697	640	577	506	424
CuAg AC-120	80	876	833	787	739	688	632	570	501
Cu AC-150	70	976	922	865	803	738	665	583	487
BzII 50	80	404	385	364	342	318	293	265	233
BzII 70	80	487	463	438	411	383	352	318	280
BzII 120	80	704	670	633	594	553	508	458	402
Cu 95	70	734	693	651	605	556	501	440	369
Cu 120	70	848	801	752	699	642	579	508	425
Al 185	80	910	865	817	767	713	654	590	517
Al 240	80	1 098	1 043	986	925	859	788	710	621

The maximum permissible temperature also limits the current carrying capacity of a conductor. When calculating the current carrying capacity the following parameters should be considered:

- maximum temperature of the conductors and the contact wires (see Table 1);
- wind speed;
- ambient temperature;
- temperature rise caused by solar gain;
- temperature rise caused by the current.

Annex B (informative)

Structural details

The thickness of supporting components made of steel should not be less than 4 mm. In case of hollow sections and tubes made of steel (excluding steady arms) the thickness may be reduced to 3 mm if effective protection against corrosion is ensured. These minimum dimensions apply also to elements made of aluminium or aluminium alloy. Lower thicknesses may be used for steady arms. The eccentricity of connections of members at nodes should be kept as small as possible.

In Table B.1 the dimensions of connections and edge distances of jointing components are recommended. The minimum distances between centres of boreholes should be not less than 2,5 times the diameter of the holes, the edge distances rectangular to the direction of forces should be not less than 1,2 times of the diameter of the boreholes.

**Table B.1 – Recommended dimensions of connections
and edge distances of jointing components**

Dimensions in millimetres

Dimension of bolt		M12	M16	M20	M24	M27	M30
Maximum diameter of borehole	Hexagon bolts and pins:	13	18	22	26	30	33
Minimum width of angle leg		35	50	60	70	75	80
Minimum edge distance in direction of the force	1) all types of members	20	25	30	40	45	50
	2) members under tension	25	35	40	50	55	65

For the design of solid-wall steel structures, the requirements are specified in ISO 10721 (all parts) and EN 1993-1-1 in Europe. Slip joint connections need not be verified by calculation if the requirements specified in EN 50341-1:2001, 7.4.6.3 in Europe, are met.

Due consideration should be given to defining the limiting material thickness for drilling or punching of holes for rivets and bolts. The effect of the material ductility should be duly considered. The steel grades specified in Clause 6 are sufficiently ductile and can therefore be punched. However, this does not apply to holes for rivets and bolts in angle sections and plates with more than 12 mm thickness. Permanent supervision should ensure that sharp punches and suiting dies are used for manufacturing. Structural members which are permanently loaded in tension should not be punched.

Structures for overhead contact lines do not need special walkways for climbing and access to working positions. If required by a project specification or the operator an adequate walkway may be specified. The elements of the walkways should be designed to meet the requirements according to 6.2.8.

Concerning necessity of anti-climbing devices reference should be made to IEC 62128-1.

It is standard practice to provide concrete structures with inserts and other elements for the connection of cantilevers and tensioning equipment. The reinforcement or special bars are needed to provide earthing. Reinforcement can be carried out with or without pre-stressing. For closed tubular structures made of steel or concrete, ventilation is necessary to avoid corrosion caused by condensation of water inside the structure.

Annex C (informative)

Geotechnical soil investigation and soil characteristics

Prior to determination of the type of foundation, its design and dimensions, the structure of soil down to a depth of at least the effective foundation width below the bottom face or deeper than the pile tip, is required to be known in sufficient detail. Also the geotechnical parameters need to be known. Therefore, soil investigations are required which form the basis to establish the geotechnical soil parameters. Other approved parameters and procedures may be used as well.

The basic information required for geotechnical design of pole foundations follows the provisions in EN 1997-1:2004, Clauses 2 and 3 in Europe. The planning of site investigations should also follow the provisions in EN 1997-1 in Europe considering the type of foundation planned.

Special considerations should be taken during the site investigations to find:

- the geometrical data of the surface with respect to embankment slope and position of the track;
- the levels of interfaces between fill layers and natural layers to a depth of at least twice the foundation width beneath the expected foundation level. In the case of compressible soft ground creating embankment settlements, the investigation depth may be increased;
- the level of the groundwater table and its variation;
- types of soil and their strength and deformation properties;
- changes of the ground conditions along the railway;
- special condition with respect to installation of the foundation (very soft soils, rock surface, boulders, etc.).

The geotechnical properties for design should be evaluated according to the guidelines in EN 1997-2 in Europe. Special considerations should be taken when the deformation properties of the upper embankment fill layers should be assessed as well as when excavated and back-filled material should be investigated, compacted or not.

Cone penetration tests or dynamic probing are proposed for finding the layering and basic estimates of parameters. Cone penetration tests are proposed in fine-grained soils and dynamic probing in coarse-grained soils. Sampling and following laboratory investigations are proposed in a number of selected representative points for identification of soils and determination of characteristics of existing fill material. In situ-measurements with a pressure meter in deep fills and cohesionless soils and field vane in cohesive soils are recommended.

Geotechnical investigation and laboratory testing should be executed according to ISO 22475-1, ISO 22476-2, ISO 22476-3 and ISO/TS 17892 (all parts).

The site investigation should also consider the environmental conditions on the site as a basis for assessing the durability of the foundations. See EN 1997-1:2004, 2.3 in Europe.

For foundations installed by excavation and back-filling representative samples of the filling material should be taken and investigated considering the provisions in EN 1997-1:2004, Clause 5 in Europe.

In case of concrete back-filling the provisions in EN 1992-1-1 in Europe should be followed.

The results of the geotechnical investigations should be compiled in a Ground Investigation Report according to the provisions in EN 1997-1:2004, 3.4 in Europe. Identification and classification of soil and rock should follow the principles in ISO 14688-1, ISO 14688-2 and ISO 14689-1.

Where no other information is available, the geotechnical characteristics set out in Table C.1 may be used for foundation design when their validity has been verified.

Table C.1 – Geotechnical characteristic parameters of some standard soils according to EN 50341-1:2001, Annex N for Europe

Soil	γ^a kN/m ³	γ^b kN/m ³	ϕ^c Degree	c^d kN/m ²	c_u^e kN/m ²
Gravel, even – graded	18	10	35	0	-
Gravel, sandy	20	11	35	0	-
Graded gravel with cobbles, boulders	21	11	37,5	0	-
Sand, loose	17	9	30	0	-
Sand, medium dense	18	10	32,5	0	-
Sand, dense	19	11	35	0	-
Sandy silt, soft	19	9	25	2,5	15
Sandy silt, firm	20	10	27,5	10	30
Sandy silt, stiff	20	10	30	20	50
Clay/silt, soft	19	9	25	2,5	15
Clay/silt, firm	19	9	25	10	30
Clay/silt, stiff, very stiff	19	9	25	20	50
Silt/Clay organic	15	5	15	5	10
Organic soil (peat)	11	1	10	5	10
Rock, jointed	22	12	-	-	-
Embankment fill (non-cohesive) medium dense	20	10	32,5	0	-
<p>^a γ specific weight.</p> <p>^b γ' specific weight under buoyancy.</p> <p>^c ϕ' angle of internal friction.</p> <p>^d c' cohesion (effective).</p> <p>^e c_u undrained shear strength.</p>					

Annex D
(informative)

**Information on uniformity of elasticity
of OCL within a span length**

In case of high-speed lines, a parameter u as low as possible should be aimed at.

Table D.1 gives values for u , which are reasonable for specific types of overhead contact lines.

Table D.1 – Uniformity u of elasticity

Type of contact line	Running speed km/h		
	200 to 230	230 to 300	Above 300
Without stitch wire	< 50	< 40	< 30
With stitch wire	< 20	< 15	< 10

In %

Annex E (normative)

Special national conditions

Special national condition: National characteristic or practice that cannot be changed even over a long period, e.g. climatic conditions, electrical earthing conditions.

For the countries in which the relevant special national conditions apply these provisions are normative.

Clause Special national condition

5.14 **China**

Typical tolerances of overhead contact line system

In order to achieve better behaviour between the pantograph and OCS to satisfy the safety requirement of the operation, following tolerances of overhead contact line system should be complied with.

Table E.1 – Typical tolerances of overhead contact line system

No	Description	Running speed km/h			
		≤120	>120 to <200	=200 to <300	≥300
1	Tolerance of the height of contact wire (1) (2) (3)				
1.1	At register points	± 60	± 30	± 30	0, + 20
1.2	Between adjacent register points	± 50	± 20	± 20	0, + 10
1.3	Between adjacent dropper points per 10m	± 20	± 10	± 10	0, + 10
2	Tolerance of stager	± 50	± 50	+30, -50	0, -50
3	Permissible lateral deflection of the contact wire under action of cross-wind (3)	400 ± 50	400 ± 50	450 ± 50	450 ± 50
<p>(1) For connecting lines with mixed freight and passenger traffic for operation of trailers with oversized gauge the contact wire height may be higher provided the pantograph is suited to collect the current with the specified quality and the development of the pantograph is sufficient as specified in IEC 60494 (all parts).</p> <p>(2) At level crossings the contact wire height shall be designed according to national directives.</p> <p>(3) The contact wire height and wind speed to be considered will be defined in the register of infrastructure defined in IEC 62498-2 .</p>					

Bibliography

International IEC/ISO Standards

- [1] IEC 60060-1:2010, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*
- [2] IEC 60449:1973, *Voltage bands for electrical installations of buildings*
Amendment 1 (1979)
- [3] IEC 60721 (all parts)¹, *Classification of environmental conditions*
- [4] IEC/TR 60815, *Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions*
- [5] IEC 60652, *Loading tests on overhead line structures*
- [6] IEC 60826, *Design criteria of overhead transmission lines*
- [7] IEC 62278 *Railway applications: Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)*
- [8] IEC 62305-1, *Protection against lightning – Part 1: General*
- [9] IEC 62305-2, *Protection against lightning – Part 2: Risk management*
- [10] IEC 62305-3, *Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard*
- [11] IEC 62305-4, *Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures*
- [12] ISO 630-2:2011, *Structural steels – Part 2: Technical delivery conditions for structural steels for general purposes*
- [13] ISO 12633-2:2011, *Hot-finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels – Part 2: Dimensions and sectional properties*
- [14] ISO 2394:1998, *General principles on reliability for structures*
- [15] ISO 3898:1997, *Bases for design of structures – Notations – General symbols*
- [16] ISO 4355:1998, *Bases for design of structures – Determination of snow loads on roofs*
- [17] ISO 4356:1977, *Bases for the design of structures – Deformations of buildings at the serviceability limit states*
- [18] ISO 10137:2007, *Bases for design of structures – serviceability of buildings against vibrations*
- [19] ISO 13823:2008, *General principles on the design of structures for durability*
- [20] ISO 16160:2011, *Continuously hot-rolled steel sheet products – Dimensional and shape tolerances*
- [21] ISO 22966:2009, *Execution of concrete structures*

International UIC leaflets

- [22] UIC leaflet 505-1, *Railway transport stock – Rolling stock construction gauge*

¹ IEC 60721-2 (all parts) is harmonised as HD 478.2 (all parts).

- [23] UIC leaflet 505-4, *Effects of the application of the kinematic gauges defined in the 505 (all parts) of leaflets on the positioning of structures in relation to the tracks and of the tracks in relation to each other*
- [24] UIC leaflet 505-5, *Basic conditions common to Leaflets 505-1 and 505-4 – Notes on the preparation and provisions of these leaflets*
- [25] UIC leaflet 600, *Electric traction with aerial contact line*
- [26] UIC leaflet 606-1, *Consequences of the application of the kinematic gauge defined by UIC Leaflets in the 505 (all parts) on the design of the contact lines*
- [27] UIC leaflet 606-2, *Installation of 25 kV and 50 or 60 Hz overhead contact lines*
- [28] UIC leaflet 608, *Conditions to be complied with for the pantographs of tractive units used in international services*
- [29] UIC leaflet 791, *Quality assurance of overhead line equipment*
- [30] UIC leaflet 794, *Pantograph-overhead line interaction on the European high-speed network*

European Standards

- [31] EN 206-1, *Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity*
- [32] EN 485-1, *Aluminium and aluminium alloys – Sheet, strip and plate – Part 1: Technical conditions for inspection and delivery*
- [33] EN 755-1, *Aluminium and aluminium alloys- Extruded rod/bar, tube and profiles – Part 1: Technical conditions for inspection and delivery*
- [34] EN 755-2, *Aluminium and aluminium alloys – Extruded rod/bar, tube and profiles – Part 2: Mechanical properties*
- [35] EN 1536, *Execution of special geotechnical work – Bored piles*
- [36] EN 1537, *Execution of special geotechnical work – Ground anchors*
- [37] EN 1090 (all parts), *Execution of steel structures and aluminium structures*
- [38] EN 1090-1, *Execution of steel structures and aluminium structures – Part 1: requirements for conformity assessment of structural components*
- [39] EN 1990:2002 + A1:2005, *Eurocode – Basis of structural design*
- [40] EN 1991-1-4:2005, *Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions*
- [41] EN 1991-2, *Eurocode 1: Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges*
- [42] ENV 1991-2-4:1995, *Eurocode 1: Basis of design and actions on structures – Part 2-4: Actions on structures – Wind actions*
- [43] EN 1992 (all parts), *Eurocode 2 – Design of concrete structures*
- [44] EN 1992-1 (all parts), *Eurocode 2 – Design of concrete structures*
- [45] EN 1992-1-1, *Eurocode 2: design of concrete structures – Part 1-1: general rules and rules for buildings*
- [46] EN 1993 (all parts), *Eurocode 3: Design of steel structures*
- [47] EN 1993-1-1:2005, *Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*

- [48] EN 1993-1-10, *Eurocode 3 – design of steel structures – Part 1-10: material toughness and through-thickness properties*
- [49] EN 1993-5, *Eurocode 3: Design of steel structures – Part 5: piling*
- [50] EN 1995 (all parts), *Eurocode 5: Design of timber structures*
- [51] EN 1997 (all parts), *Eurocode 7: Geotechnical design*
- [52] EN 1997-1:2004, *Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules*
- [53] EN 1997-2:2007, *Eurocode 7: Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing*
- [54] EN 1998 (all parts), *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance*
- [55] EN 1999 (all parts), *Eurocode 9: Design of aluminium structures*
- [56] EN 10025 (all parts), *Hot rolled products of structural steels*
- [57] EN 10025-1, *Hot rolled products of structural steels – Part 1: general technical delivery conditions*
- [58] EN 10149 (all parts), *Hot-rolled flat products made of high yield strength steels for cold forming*
- [59] EN 10164, *Steel products with improved deformation properties perpendicular to the surface of the product – Technical delivery conditions*
- [60] EN 10210 (all parts), *Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels*
- [61] EN 10219 (all parts), *Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels*
- [62] EN 12465, *Wood poles for overhead lines – Durability requirements*
- [63] EN 12479, *Wood poles for overhead lines – Sizes – Methods of measurement and permissible deviations*
- [64] EN 12509, *Timber poles for overhead lines – Test methods – Determination of modulus of elasticity, bending strength, density and moisture content*
- [65] EN 12510, *Wood poles for overhead lines – Strength grading criteria*
- [66] EN 12511, *Wood poles for overhead lines – Determination of characteristic values*
- [67] EN 12699, *Execution of special geotechnical work – Displacement piles*
- [68] EN 12843, *Precast concrete products – Masts and poles*
- [69] EN 15016 (all parts), *Technical drawings – Railway applications*
- [70] EN 20898-2, *Mechanical properties of fasteners – Part 2: Nuts with specified proof load values – Coarse thread (ISO 898-2)*
- [71] EN 50119, *Railway applications – Fixed installations – Electric traction overhead contact lines*
- [72] EN 50149, *Railway applications – Fixed installations – Electric traction – Copper and copper alloy grooved contact wires*
- [73] EN 50182, *Conductors for overhead lines – Round wire concentric lay stranded conductors*

- [74] EN 50183, *Conductors for overhead lines – Aluminium-magnesium-silicon alloy wires*
- [75] EN 50189, *Conductors for overhead lines – Zinc coated steel wires*
- [76] EN 50317, *Railway applications – Current collection systems – Requirements for and validation of measurements of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line*
- [77] EN 50318, *Railway applications – Current collection systems – Validation of simulation of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line*
- [78] EN 50326, *Conductors for overhead lines – Characteristics of greases*
- [79] EN 50341-1:2001, *Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV – Part 1: General requirements – Common specifications*
- [80] EN 50345, *Railway applications – Fixed installations – Electric traction – Insulating synthetic rope assemblies for support of overhead contact lines*
- [81] CLC/TS 50502, *Railway applications – Rolling stock – Electric equipment in trolley buses – Safety requirements and connection systems*

National Standards

- [82] GB50009-2001, *Load code for the design of building structure* (National standards of China)
- [83] GB50153-2008, *Unified standard for reliability design of engineering structures* (National standards of China)
- [84] TB/T 2809-2005, *Copper and Copper-Alloy Contact Wires for Electric Railway*
- [85] TB/T 3111-2005, *Stranded Copper and Copper-Alloy Conductors for Electric Railway*
- [86] GB/T 1179-2008, *Round wire concentric lay overhead electrical stranded conductors*
- [87] Shorei 151 Ministerial Ordinance to Provide the Technical Standard on Railway in Japan, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, 2001.
- [88] Official notice 78 Approved specification for Ministerial Ordinance to Provide the Technical Standard on Railway (Kaishaku-kijun), Railway Bureau of MLIT, 2007
- [89] JIS E 2002 *Electric traction overhead lines – Fittings – Test methods*
- [90] GB 50017-2007, *Code for design of steel structures*
- [91] GB 50010-2010, *Code for design of concrete structure*
- [92] GB 50011-2010, *Code for seismic design of buildings*
- [93] JGJ 94-2008, *Technical Code for Building Pile Foundations*
- [94] JGJ106-2003, *Technical code for testing of building foundation piles*

Other technical information

- [95] Technical Report, No. 660, *Current capacities of overhead lines*, The Institute of Electrical Engineers of Japan (IEEJ), 1997
- [96] *Design and installation standard for overhead contact lines*, Japan Railway Construction Transport and Technology Agency, 2011-3.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	106
1 Domaine d'application	108
2 Références normatives	108
3 Termes, définitions, symboles et abréviations	112
3.1 Systèmes	112
3.2 Conducteurs	113
3.3 Electricité	114
3.4 Géométrie	114
3.5 Fondations	115
3.6 Structures	116
3.7 Symboles et abréviations	116
4 Données de conception fondamentales	118
4.1 Généralités	118
4.2 Caractéristiques de la ligne	118
4.3 Conception du réseau d'énergie électrique	119
4.4 Caractéristiques des véhicules	119
4.5 Dispositifs de captage du courant	119
4.6 Conditions d'environnement	120
4.7 Durée de vie théorique	120
5 Exigences du système	120
5.1 Conception du système électrique	120
5.1.1 Généralités	120
5.1.2 Echauffement des conducteurs	120
5.1.3 Distances d'isolement entre les parties sous tension des lignes de contact et la terre	121
5.1.4 Distances d'isolement entre lignes de contact contiguës en courant alternatif de phases différentes	123
5.2 Conception des systèmes de captage de courant	123
5.2.1 Généralités	123
5.2.2 Elasticité et variation	124
5.2.3 Mouvement vertical du point de contact	124
5.2.4 Vitesse de propagation des ondes	125
5.2.5 Qualité du captage de courant	125
5.3 Conception mécanique des charges du fil de contact	127
5.3.1 Contrainte de traction admissible σ_w	127
5.3.2 Température maximale K_{temp}	127
5.3.3 Usure admissible K_{wear}	127
5.3.4 Charges dues au vent et au givre $K_{icewind}$	128
5.3.5 Efficacité des équipements tendeurs K_{eff}	128
5.3.6 Pièces d'extrémité K_{clamp}	128
5.3.7 Joints K_{joint}	128
5.4 Conception mécanique des charges du câble porteur	128
5.4.1 Charge admissible à la traction F_w	128
5.4.2 Température maximale K_{temp}	129
5.4.3 Charges dues au vent K_{wind}	129
5.4.4 Charges dues au givre K_{ice}	129
5.4.5 Précision et efficacité des équipements tendeurs K_{eff}	130

5.4.6	Pièces d'extrémité K_{clamp}	130
5.4.7	Charge verticale supplémentaire K_{load}	130
5.5	Conception mécanique des autres conducteurs toronnés	130
5.6	Conception mécanique des fils massifs	130
5.7	Conception mécanique des charges des câbles en matériaux non conducteurs	130
5.7.1	Généralités	130
5.7.2	Charge admissible à la traction F_{W}	130
5.7.3	Charges dues au vent K_{wind}	131
5.7.4	Charges dues au givre K_{ice}	131
5.7.5	Pinces d'extrémité K_{clamp}	131
5.7.6	Charges verticales K_{load}	131
5.7.7	Rayon de courbure minimal K_{radius}	131
5.8	Systèmes de suspension	131
5.9	Équipement tendeur	132
5.10	Géométrie de la ligne aérienne	132
5.10.1	Déflexion horizontale du fil de contact	132
5.10.2	Soulèvement	132
5.10.3	Variation de la hauteur du fil de contact	133
5.10.4	Hauteur minimale du fil de contact	133
5.10.5	Hauteur minimale théorique du fil de contact	133
5.10.6	Hauteur nominale du fil de contact	133
5.10.7	Hauteur maximale théorique du fil de contact	133
5.11	Disposition de la ligne de contact au dessus des aiguillages et des croisements	135
5.12	Dispositifs de sectionnement	135
5.13	Exigences spécifiques aux lignes aériennes de contact des trolleybus	135
5.13.1	Généralités	135
5.13.2	Caractéristiques de la ligne	136
5.13.3	Caractéristiques des véhicules	137
5.13.4	Système de captage du courant	137
5.13.5	Forces de contact statiques	137
5.13.6	Trolleybus à proximité de tramways	137
5.14	Tolérances et limites	138
6	Structures	139
6.1	Bases de conception	139
6.1.1	Généralités	139
6.1.2	Exigences fondamentales	139
6.1.3	Conception tenant compte des limites de structure	139
6.1.4	Classification des actions	140
6.1.5	Niveaux de fiabilité	140
6.1.6	Modèle pour l'analyse et la résistance structurelles	141
6.1.7	Valeurs de conception et méthodes de vérification	141
6.2	Actions sur les lignes aériennes de contact	142
6.2.1	Généralités	142
6.2.2	Charges permanentes	143
6.2.3	Charges variables	143
6.2.4	Charges dues au vent	143
6.2.5	Charges de givre	147

6.2.6	Charges combinées du vent et du givre	147
6.2.7	Effets de la température.....	148
6.2.8	Charges de construction et de maintenance	148
6.2.9	Charges accidentelles.....	148
6.2.10	Actions spéciales	148
6.3	Types de structures et cas de charge liés	149
6.3.1	Cas de charge et combinaisons de charge	149
6.3.2	Type de structures et application des cas de charge.....	150
6.3.3	Facteurs partiels pour les actions.....	153
6.4	Conception des supports et des structures transversales	155
6.4.1	Analyses des forces et des moments internes	155
6.4.2	Analyse de la résistance	155
6.4.3	Facteurs partiels de matériau.....	155
6.4.4	Vérification de la résistance	156
6.4.5	Vérification de l'aptitude au fonctionnement.....	156
6.4.6	Matériau pour les structures.....	156
6.4.7	Protection contre la corrosion et traitements de surface	157
6.5	Fondations	158
6.5.1	Généralités	158
6.5.2	Conception des fondations	158
6.5.3	Calcul des actions.....	158
6.5.4	Conception géotechnique.....	158
6.5.5	Conception structurelle	161
6.5.6	Facteurs partiels pour les fondations.....	162
6.5.7	Vérification de stabilité.....	162
6.5.8	Calcul des déplacements	163
6.5.9	Matériaux pour les fondations	163
6.5.10	Détails structurels	163
6.5.11	Protection contre la corrosion et l'altération	164
6.5.12	Conception électrique	164
6.5.13	Installation des fondations.....	164
7	Exigences pour les composants	165
7.1	Généralités.....	165
7.1.1	Durée de vie théorique.....	165
7.1.2	Identification des composants	166
7.1.3	Corrosion et érosion.....	166
7.2	Armements.....	166
7.3	Fil de contact.....	166
7.4	Autres câbles et conducteurs	166
7.5	Equipements tendeurs	167
7.6	Points médians mécaniques	167
7.6.1	Généralités	167
7.6.2	Porteur avec ancrage fixe	167
7.6.3	Fils de contact avec points fixes.....	168
7.7	Pendules	168
7.7.1	Exigences mécaniques	168
7.7.2	Exigences électriques	168
7.8	Pinces et accessoires de ligne	169
7.8.1	Exigences mécaniques	169

7.8.2	Exigences électriques	169
7.9	Raccords électriques	169
7.10	Isolateurs	169
7.11	Dispositifs de sectionnement	170
7.11.1	Définition	170
7.11.2	Exigences mécaniques	170
7.11.3	Exigences électriques	170
7.12	Sectionneurs et commandes	170
7.13	Dispositifs de protection.....	170
7.13.1	Protections et obstacles	170
7.13.2	Dispositifs de protection contre les surtensions	171
7.14	Composants spécifiques aux systèmes de trolleybus.....	171
7.14.1	Généralités	171
7.14.2	Aiguillages et croisements	171
8	Essais	171
8.1	Généralités	171
8.2	Armements	172
8.2.1	Essai de type	172
8.2.2	Essai sur prélèvement aléatoire	180
8.2.3	Essai individuel de série.....	182
8.3	Fils de contact	182
8.4	Autres conducteurs.....	182
8.5	Équipements tendeurs	183
8.5.1	Essais exigés.....	183
8.5.2	Essais de type des équipements tendeurs avec contrepoids	183
8.5.3	Essais de type des équipements tendeurs sans contrepoids	184
8.6	Points médians mécaniques	184
8.7	Pendules	184
8.7.1	Essais exigés.....	184
8.7.2	Essai de fatigue mécanique	184
8.7.3	Essais mécaniques	185
8.8	Pinces, jonctions et autres accessoires	186
8.9	Raccords électriques	186
8.9.1	Généralités	186
8.9.2	Essais de fatigue mécanique.....	186
8.10	Isolateurs	187
8.11	Dispositifs de sectionnement	187
8.11.1	Essais de type	187
8.11.2	Essai sur site	188
8.11.3	Essais sur prélèvement.....	189
8.11.4	Essais individuels de série	189
8.12	Sectionneurs et commandes	189
8.13	Dispositifs de protection contre les surtensions	189
8.14	Composants spécifiques aux trolleybus.....	189
8.15	Essai de système.....	190
8.15.1	Démonstration de conformité	190
8.15.2	Essais de recette	190
8.15.3	Essais de mise en service.....	191
9	Documentation minimale.....	191

9.1	Généralités	191
9.2	Spécification du système	191
9.3	Etude de base	191
9.4	Etude d'installation	191
9.5	Installation et maintenance	191
Annexe A (informative)	Courant admissible des conducteurs	192
Annexe B (informative)	Détails de la structure	193
Annexe C (informative)	Reconnaissance géotechnique et caractérisation des sols	194
Annexe D (informative)	Informations relatives à l'uniformité de l'élasticité des lignes Aériennes de Contact (LAC) sur une longueur de portée.....	196
Annexe E (normative)	Conditions nationales particulières	197
	Bibliographie	198
Figure 1	– Relation entre les hauteurs du fil de contact et la position du pantographe en service	134
Figure 2	– Position du fil de retour par rapport à l'emprise de la voie.....	136
Figure 3	– Action du vent sur les structures maillées en acier	146
Figure 4	– Définition des coefficients de traînée des doubles longerons	147
Figure 5	– Description des dimensions et des longueurs minimales du conducteur.....	178
Figure 6	– Points de mesure du potentiel à une pince de connexion et à un manchon d'aboutement	179
Figure 7	– Points de mesure du potentiel à une borne d'alimentation en T	180
Figure 8	– Exemple d'un essai de mesure d'un équipement tendeur	183
Figure 9	– Exemple d'un cycle d'essai de pendule	185
Figure 10	– Exemple d'un montage d'essai de traction de pendule.....	186
Figure 11	– Exemple d'un cycle d'essai d'un raccord électrique	187
Tableau 1	– Limites de température pour les propriétés mécaniques des matériaux.....	121
Tableau 2	– Distances d'isolement électrique	122
Tableau 3	– Distances d'isolement entre phases différentes	123
Tableau 4	– Force de contact	126
Tableau 5	– Facteur K_{temp} pour fils de contact	127
Tableau 6	– Facteur $K_{icewind}$ pour fils de contact	128
Tableau 7	– Facteur K_{temp} pour conducteurs toronnés	129
Tableau 8	– Facteur K_{wind} pour conducteurs toronnés	129
Tableau 9	– Facteur K_{ice} pour conducteurs toronnés.....	129
Tableau 10	– Facteur K_{radius} pour câbles en matériaux non conducteurs.....	131
Tableau 11	– Pentes des fils de contact	133
Tableau 12	– Paramètres importants pour aider à la définition des tolérances et des limites	138
Tableau 13	– Valeurs recommandées du facteur C_{str} pour divers types de structure.....	147
Tableau 14	– Résumé des cas de charge à prendre en compte pour chaque type de structures.....	153
Tableau 15	– Résumé des facteurs partiels pour les actions	154
Tableau 16	– Facteurs partiels recommandés γ_M pour l'acier	155

Tableau 17 – Facteurs partiels recommandés γ_M pour les structures en béton.....	156
Tableau 18 – Facteurs partiels recommandés γ_M pour les fondations	162
Tableau 19 – Couples de serrage M_t pour boulon usuel.....	173
Tableau 20 – Exemples de boulonnerie	174
Tableau 21 – Classe de résistance de la boulonnerie.....	174
Tableau 22 – Facteurs de conversion pour les couples de serrage.....	174
Tableau 23 – Longueurs minimales du conducteur	179
Tableau A.1 – Courant permanent admissible des conducteurs et des fils de contact.....	192
Tableau B.1 – Dimensions recommandées des connexions et distances aux bords des pièces de raccords	193
Tableau C.1 – Caractéristiques géotechniques de quelques sols standards selon la EN 50341-1:2001, Annexe N pour l'Europe.....	195
Tableau D.1 – Uniformité u de l'élasticité.....	196
Tableau E.1 – Tolérances typiques d'un système de ligne aérienne de contact	197

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPLICATIONS FERROVIAIRES – INSTALLATIONS FIXES – LIGNES AÉRIENNES DE CONTACT POUR LA TRACTION ÉLECTRIQUE

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI 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 CEI 60913 a été établie par le comité d'études 9 de la CEI: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1988. Elle constitue une révision technique de la norme initiale fondée sur la norme européenne EN 50119.

Les principaux changements techniques par rapport à l'édition précédente concernent:

- des données de conception fondamentales,
- des exigences du système,
- des structures,
- des exigences pour les composants,
- des essais

pour la conception des lignes aériennes de contact.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
9/1745/FDIS	9/1773/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

APPLICATIONS FERROVIAIRES – INSTALLATIONS FIXES – LIGNES AÉRIENNES DE CONTACT POUR LA TRACTION ÉLECTRIQUE

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique aux lignes aériennes de contact de traction électrique des réseaux ferrés lourds et légers, des trolleybus ainsi qu'aux réseaux industriels, que le réseau soit privé ou public.

La norme s'applique aux nouvelles constructions de lignes aériennes de contact ainsi qu'à la rénovation de parties de lignes déjà existantes.

La présente Norme internationale contient les exigences et les essais pour la conception des lignes aériennes de contact, des exigences pour les structures ainsi que leurs calculs et vérifications, de même que les exigences et les essais pour la conception des ensembles et des parties individuelles.

Cette norme ne donne pas d'exigences pour les systèmes à rail de contact lorsque les rails de contact sont adjacents aux rails de circulation.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

NOTE Les références normatives incluent des normes ISO et CEI. Parfois, les références nécessaires ne figurent pas dans les normes ISO et CEI. Dans ce cas, il est fait référence à des Normes Européennes qui sont normatives pour l'Europe, selon la norme EN 50119. Pour les pays non européens, ces références sont fournies uniquement à titre d'information et sont répertoriées dans la bibliographie.

CEI 60050-811, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 811: Traction électrique*

CEI 60071 (toutes les parties), *Coordination de l'isolement*

CEI 60099 (toutes les parties), *Parafoudres*

CEI 60099-1, *Parafoudres – Partie 1: Parafoudres à résistance variable avec éclateurs pour réseaux à courant alternatif*

CEI 60099-4, *Parafoudres – Partie 4: Parafoudres à oxyde métallique sans éclateurs pour réseaux à courant alternatif*

CEI 60168, *Essais des supports isolants d'intérieur et d'extérieur, en matière céramique ou en verre, destinés à des installations de tension nominale supérieure à 1 000 V*

CEI 60273, *Caractéristiques des supports isolants d'intérieur et d'extérieur destinés à des installations de tension nominale supérieure à 1 000 V*

CEI 60305, *Isolateurs pour lignes aériennes de tension nominale supérieure à 1 000 V – Éléments d'isolateurs en matière céramique ou en verre pour systèmes à courant alternatif – Caractéristiques des éléments d'isolateurs du type capot et tige*

CEI 60383 (toutes les parties), *Isolateurs pour lignes aériennes de tension nominale supérieure à 1 000 V*

CEI 60433, *Isolateurs pour lignes aériennes de tension nominale supérieure à 1 000 V – Isolateurs céramiques pour systèmes à courant alternatif – Caractéristiques des éléments de chaînes d'isolateurs à fût long*

CEI 60494 (toutes les parties), *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Pantographes – Caractéristiques et essais*

CEI 60494-1, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Pantographes – Caractéristiques et essais – Partie 1: Pantographes pour véhicules grandes lignes*

CEI 60494-2, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Pantographes – Caractéristiques et essais – Partie 2: Pantographes pour métros et véhicules légers*

CEI 60529, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (code IP)*

CEI 60660, *Isolateurs – Essais des supports isolants d'intérieur en matière organique destinés à des installations de tension nominale supérieure à 1 000 V jusqu'à 300 kV non compris*

CEI 60672-1, *Matériaux isolants à base de céramique ou de verre – Partie 1: Définitions et classification*

CEI 60672-2, *Matériaux isolants à base de céramique ou de verre – Partie 2: Méthodes d'essai*

CEI 60672-3, *Matériaux isolants à base de céramique ou de verre – Partie 3: Spécifications pour matériaux particuliers*

CEI 60850, *Applications ferroviaires – Tensions d'alimentation des réseaux de traction*

CEI 60889, *Fil d'aluminium écroui dur pour conducteurs de lignes aériennes*

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

CEI 61089, *Conducteurs pour lignes aériennes à brins circulaires, câbles en couches concentriques*

CEI 61109, *Isolateurs pour lignes aériennes – Isolateurs composites de suspension et d'ancrage destinés aux systèmes à courant alternatif de tension nominale supérieure à 1 000 V – Définitions, méthodes d'essai et critères d'acceptation*

CEI 61232, *Fils d'acier revêtus d'aluminium pour usages électriques*

CEI/TR 61245, *Essais de pollution artificielle sur isolateurs haute tension destinés aux réseaux à courant continu*

CEI 61284:1997, *Lignes aériennes – Exigences et essais pour le matériel d'équipement*

CEI 61325, *Isolateurs pour lignes aériennes de tension nominale supérieure à 1 000 V – Eléments d'isolateurs en céramique ou en verre pour systèmes à courant continu – Définitions, méthodes d'essai et critères d'acceptation*

CEI 61773, *Lignes aériennes – Essais de fondations des supports*

CEI 61952, *Isolateurs pour lignes aériennes – Isolateurs composites rigides à socle pour systèmes à courant alternatif de tension nominale supérieure à 1 000 V – Définitions, méthodes d'essai et critères d'acceptation*

CEI 61992 (toutes les parties), *Applications ferroviaires – Installations fixes – Appareillage à courant continu*

CEI 61992-1, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Appareillage à courant continu – Partie 1: Généralités*

CEI 61992-4, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Appareillage à courant continu – Partie 4: Interrupteurs-sectionneurs, sectionneurs et sectionneurs de terre à courant continu, pour usage extérieur*

CEI 61992-5, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Appareillage à courant continu – Partie 5: Parafoudres limiteurs de tension pour usage spécifique dans les systèmes de traction à courant continu*

CEI 62128 (toutes les parties), *Applications ferroviaires – Installations fixes*

CEI 62128-1:2003, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Partie 1: Mesures de protection relatives à la sécurité électrique et à la mise à la terre*

CEI 62128-2:2003, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Partie 2: Mesures de protection contre les effets des courants vagabonds issus de la traction électrique à courant continu*

CEI 62236-2:2008, *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2: Emission du système ferroviaire dans son ensemble vers le monde extérieur*

CEI 62271-102, *Appareillage à haute tension – Partie 102: Sectionneurs et sectionneurs de terre à courant alternatif*

CEI 62271-103:2011, *Appareillage à haute tension – Partie 103: Interrupteurs pour tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV*

CEI 62486, *Applications ferroviaires – Systèmes de captage de courant – Critères techniques d'interaction entre le pantographe et la ligne aérienne de contact (réalisation du libre accès)*

CEI 62497 (toutes les parties), *Applications ferroviaires – Coordination de l'isolement*

CEI 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*

CEI 62497-2, *Applications ferroviaires – Coordination de l'isolement – Partie 2: Surtensions et protections associées*

CEI 62498-2, *Applications ferroviaires – Conditions d'environnement pour le matériel – Partie 2: Installations électriques fixes*

CEI 62505 (toutes les parties), *Applications ferroviaires – Installations fixes – Exigences particulières pour appareillage à courant alternatif*

CEI 62505-2, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Exigences particulières pour appareillage à courant alternatif – Partie 2: Sectionneurs monophasés, sectionneurs de terre et commutateurs avec U_n supérieur à 1 kV*

CEI 62621, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Traction électrique – Exigences particulières pour les isolateurs composites destinés aux réseaux de lignes aériennes de contact*

ISO 630 (toutes les parties), *Aciers de construction*

ISO 898-1, *Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier au carbone et en acier allié – Partie 1: Vis, goujons et tiges filetées de classes de qualité spécifiées – Filetages à pas gros et filetages à pas fin*

ISO 898-2:2012, *Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier au carbone et en acier allié – Partie 2: Ecrous de classes de qualité spécifiées – Filetage à pas gros et filetages à pas fins*

ISO 1461, *Revêtements par galvanisation à chaud sur produits finis en fonte et en acier – Spécifications et méthodes d'essai*

ISO 2394, *Principes généraux de la fiabilité des constructions*

ISO 3010:2001, *Bases du calcul des constructions – Actions sismiques sur les structures*

ISO 4354, *Actions du vent sur les structures*

ISO 10721 (toutes les parties), *Structures en acier*

ISO/TR 11069:1995, *Structures en aluminium – Matériaux et conception – État limite ultime sous charge statique*

ISO 14688-1, *Reconnaissance et essais géotechniques – Dénomination, description et classification des sols – Partie 1: Dénomination et description*

ISO 14688-2, *Reconnaissance et essais géotechniques – Dénomination, description et classification des sols – Partie 2: Principes pour une classification*

ISO 14689-1, *Reconnaissance et essais géotechniques – Dénomination, description et classification des roches – Partie 1: Dénomination et description*

ISO/TS 17892, *Reconnaissance et essais géotechniques – Essais de laboratoire sur les sols*

ISO 22475-1, *Reconnaissance et essais géotechniques – Méthodes de prélèvement et mesurages piézométriques – Partie 1: Principes techniques des travaux*

ISO 22476-2, *Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place – Partie 2: Essais de pénétration dynamique*

ISO 22476-3, *Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place – Partie 3: Essai de pénétration au carottier*

ISO 23469:2005, *Bases du calcul des constructions – Actions sismiques pour le calcul des ouvrages géotechniques*

3 Termes, définitions, symboles et abréviations

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 60050-811 ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1 Systèmes

3.1.1

système de la ligne de contact

réseau de support destiné à alimenter des unités motrices en énergie électrique à partir des sous-stations. Il couvre des systèmes de ligne aérienne de contact et des systèmes de rail de contact. Les limites électriques du système sont le point d'alimentation et le point de contact de l'organe de captage du courant

Note 1 à l'article: Le système mécanique peut comprendre

- la ligne de contact,
- des structures et des fondations,
- des supports et tous composants soutenant ou positionnant les conducteurs,
- des suspensions transversales,
- des équipements tendeurs,
- des lignes d'alimentation, des lignes de renforcement et d'autres lignes comme des câbles de terre et des conducteurs de retour de courant dans la mesure où ils sont soutenus par les structures du système de la ligne de contact,
- tout autre matériel nécessaire au fonctionnement de la ligne de contact,
- des conducteurs reliés en permanence à la ligne de contact pour alimenter d'autres appareils électriques tels que l'éclairage, la signalisation, le contrôle, le chauffage.

3.1.2

ligne de contact

ligne électrique destinée à alimenter des unités motrices en énergie électrique par l'intermédiaire d'organes de captage du courant

Note 1 à l'article: Cela comprend tous les conducteurs pour le captage du courant, les barres conductrices et rails de contact, y compris:

- les lignes de renforcement;
- les lignes transversales d'alimentation;
- les sectionneurs;
- les isolateurs de section;
- les dispositifs de protection contre les surtensions;
- les supports qui ne sont pas isolés des conducteurs;
- les isolateurs reliés aux parties sous tension.

Ne sont pas compris:

- les lignes parallèles d'alimentation;
- les câbles de terre et les conducteurs de retour de courant.

3.1.3

système de ligne aérienne de contact

système de ligne de contact utilisant une ligne aérienne de contact pour alimenter en courant des unités motrices

3.1.4

ligne aérienne de contact

ligne de contact placée au-dessus ou à côté de la limite supérieure du gabarit des unités motrices et alimentant des unités motrices en énergie électrique par l'intermédiaire d'organes de captage de courant montés sur le toit

3.1.5**système de rail de contact**

système de ligne de contact utilisant un rail conducteur pour le captage du courant

3.1.6**rail aérien de contact**

ligne aérienne de contact rigide constituée d'une section élémentaire ou composée, installée au-dessus ou à côté de la limite supérieure du gabarit des véhicules et alimentant des unités motrices en énergie électrique par l'intermédiaire d'organes de captage de courant montés sur le toit

3.1.7**rail de contact**

ligne de contact faite d'une section métallique rigide ou d'un rail, installée sur des isolateurs situés près des rails de roulement

3.1.8**armement**

assemblage de composants attachés à la structure principale du support qui soutient et positionne la ligne aérienne de contact

3.1.9**gabarit de chargement statique**

enveloppe limite de la section transversale des véhicules circulant sur voies ferrées

3.1.10**gabarit de chargement cinématique**

gabarit de chargement statique dont l'enveloppe a été agrandie pour tenir compte des mouvements dynamiques des véhicules, par exemple le déport ou le mouvement de rebond des suspensions

3.1.11**enveloppe cinématique**

gabarit de chargement cinématique encore étendu pour tenir compte des tolérances éventuelles liées à la position de la voie ferrée

3.1.12**saillie**

enveloppe cinématique agrandie pour tenir compte du centre et de l'extrémité des véhicules dans les courbes horizontales et verticales

3.1.13**équipement tendeur**

dispositif destiné à maintenir la tension mécanique des conducteurs dans les paramètres de conception du système

3.1.14**réseau de transport public urbain**

réseau de métro, de trolleybus et de tramway, fonctionnant dans les zones urbaines à l'exclusion des trains

3.2 Conducteurs**3.2.1****ligne parallèle d'alimentation**

conducteur aérien monté sur la même structure que la ligne aérienne de contact pour assurer des réalimentations successives

3.2.2

ligne de renforcement

conducteur aérien monté le long de la ligne aérienne de contact et directement relié à celle-ci à des intervalles fréquents de manière à en augmenter la section effective

3.3 Electricité

3.3.1

tension nominale

tension pour laquelle une installation ou une partie d'installation est conçue

Note 1 à l'article: La tension de la ligne de contact peut être différente de la tension nominale dans des proportions conformes aux tolérances admises par la CEI 60850.

3.3.2

section d'alimentation

section électrique de l'itinéraire alimentée par des disjoncteurs individuels du circuit de voie à l'intérieur de la zone alimentée par la sous-station

3.3.3

courant de défaut

intensité maximale passant par la ligne aérienne de contact dans des conditions de défaut, pendant une courte période de temps définie, et circulant dans les équipements sous tension et la terre

3.3.4

court-circuit

itinéraire conducteur, accidentel ou intentionnel, entre deux ou plus de deux points d'un circuit contraignant les tensions entre ces points à être relativement basses. Tout itinéraire conducteur, soit entre des conducteurs, soit entre un conducteur et la terre, est considéré comme un court-circuit

3.3.5

courant de court-circuit

courant électrique circulant à travers le court-circuit

3.3.6

courant permanent assigné

capacité nominale assignée du courant de la ligne aérienne de contact rapportée aux autres paramètres opérationnels du système

3.3.7

point d'alimentation

point au niveau duquel le système d'alimentation est relié à la ligne de contact

3.3.8

sectionnement

coupe d'une section de ligne aérienne de contact de la source d'énergie électrique soit en cas d'urgence, soit pour faciliter la maintenance

3.4 Géométrie

3.4.1

canton de pose

longueur de la ligne aérienne de contact entre deux points d'ancrage

3.4.2 pente

rapport de la différence mesurée entre la hauteur de la ligne aérienne de contact au-dessus du plan des rails (ou la surface de la route pour les systèmes de ligne aérienne de contact de trolleybus) au droit de deux supports successifs et la longueur de la portée

3.4.3 hauteur du fil de contact

distance entre le dessus du rail (ou la surface de la route pour les systèmes de ligne aérienne de contact de trolleybus) et la face inférieure du fil de contact mesurée perpendiculairement à la voie

3.4.4 hauteur minimale du fil de contact

valeur minimale de la hauteur du fil de contact dans la portée afin d'éviter, quelles que soient les conditions, un amorçage entre un ou plusieurs fils de contact et les véhicules

3.4.5 hauteur minimale théorique du fil de contact

hauteur théorique, avec les tolérances, du fil de contact étudiée pour toujours respecter la hauteur minimale du fil de contact

3.4.6 hauteur nominale du fil de contact

valeur nominale de la hauteur du fil de contact au droit d'un support dans des conditions normales

3.4.7 hauteur maximale du fil de contact

hauteur théorique du fil de contact que le pantographe doit atteindre en toutes conditions

3.4.8 hauteur maximale théorique du fil de contact

hauteur théorique tenant compte des tolérances, des mouvements, etc. du fil de contact étudiée pour ne pas dépasser la hauteur maximale du fil de contact

3.4.9 soulèvement du fil de contact

déplacement vertical ascendant du fil de contact dû à l'effort produit par le pantographe

3.5 Fondations

3.5.1 fondation en dalle

fondation en surface faite par creusement et remplissage

3.5.2 fondation sur pieux

fondation qui est suffisamment souple pour absorber à la fois la rotation et les déformations dans le pieu lui-même soumis à des charges horizontales ou des moments de renversement. La section peut être circulaire ou non et elle est installée par forage et/ou par damage

3.5.3 fondation par massif

fondation relativement courte et rigide installée par excavation ou forage qui est soumise à des charges horizontales ou des moments de renversement. La section peut être circulaire ou rectangulaire

3.6 Structures

3.6.1

coefficient de traînée
coefficient de traînée aérodynamique
coefficient de force

Il est utilisé pour étudier la forme d'un objet exposé au vent. La pression du vent est multipliée par ce facteur afin de déterminer l'action du vent

3.6.2

facteur partiel
facteur partiel de sécurité

c'est un facteur utilisé pour multiplier les charges caractéristiques afin de calculer les charges théoriques côté charge (facteur partiel de charge) de l'équation permettant de vérifier la résistance appropriée des composants ou de diviser la résistance caractéristique côté matériau (facteur partiel du matériau). Il convient de remplacer par les facteurs partiels les facteurs de sécurité appliqués dans les approches conceptuelles utilisées précédemment

Note 1 à l'article: Le facteur partiel d'une action est un facteur choisi, tenant compte d'éventuels écarts défavorables par rapport à la valeur caractéristique des actions, d'éventuelles inexactitudes de la modélisation et de possibles incertitudes dans l'évaluation des effets de ces actions.

Note 2 à l'article: Le facteur partiel d'une propriété de matériau est un facteur couvrant les écarts défavorables par rapport à la valeur caractéristique des propriétés du matériau, les inexactitudes au niveau des facteurs de conversion appliqués et les incertitudes relatives aux propriétés géométriques et au modèle de résistance.

3.7 Symboles et abréviations

A_{ins}	surface projetée d'un isolateur
A_K	valeur caractéristique des actions accidentelles
A_{lat}	surface effective des éléments d'une structure maillée
A_{str}	surface projetée d'une structure
AACSR	conducteur en alliage d'aluminium-acier (<i>Aluminium alloy conductor steel reinforced</i>)
ACSR	conducteur en aluminium-acier (<i>Aluminium conductor steel reinforced</i>)
c.a.	courant alternatif
C	amplitude de compression pour l'essai de pendule
C_C	coefficient de traînée d'un conducteur
CEM	compatibilité électromagnétique
C_{ins}	coefficient de traînée des isolateurs
C_{lat}	coefficient de traînée des structures maillées
C_{str}	coefficient de traînée d'une structure
c.c.	courant continu
E_d	valeur théorique totale des actions
EMI	interférence électromagnétique (<i>electromagnetic interference</i>)
F_{Bmin}	charge de rupture minimale des câbles et des câbles toronnés
F_d	valeur théorique d'une action
F_K	valeur caractéristique d'une action
F_L	force interne pour l'essai de pendule
F_{max}	charge de rupture ou charge maximale des échantillons en essais
F_{nom}	force nominale

$F_{\text{perm.op}}$	force admissible en service
F_w	charge admissible à la traction des câbles et conducteurs toronnés
G_C	facteur de réponse structurelle pour les conducteurs
G_{ins}	facteur de résonance structurelle pour les ensembles d'isolateurs
G_K	valeur caractéristique des actions permanentes
G_{lat}	facteur de résonance structurelle pour les structures maillées
G_q	facteur de réaction aux rafales
G_{str}	facteur de résonance structurelle d'une structure
G_t	facteur de terrain
g_{IK}	charge de givre caractéristique spécifique
LAC	ligne aérienne de contact
$M_{\text{dyy}}, M_{\text{dzz}}$	moments de flexion théoriques
N_{dax}	force axiale interne d'un élément
n	coefficient de sécurité pour le calcul de la charge admissible des fils
OCS	système de ligne aérienne de contact (<i>overhead contact line system</i>)
P_{prim}	chaleur appliquée extérieurement
Q_{CK}	forces de traction du conducteur dépendant des températures et des charges climatiques
Q_{IK}	charge de givre caractéristique
Q_K	valeur caractéristique des actions variables
Q_{PK}	charge de construction et de maintenance
Q_W	charge de vent
Q_{WC}	charge de vent sur les conducteurs
Q_{Wt}	charge de vent sur les structures maillées
Q_{Wstr}	charge de vent sur les structures
q_K	pression dynamique caractéristique du vent
R_{dax}	résistance axiale en traction ou en compression
$R_{\text{dyy}}, R_{\text{dzz}}$	résistances théoriques en flexion
R_k	valeur caractéristique de la résistance limite d'une fondation
$R_{p\ 0,2\ \text{min}}$	limite élastique à 0,2 %
u	variation de l'élasticité (également nommée degré de non-uniformité)
V_c	vitesse de propagation de l'onde sur le fil de contact
V_R	vitesse du vent de référence
v_w	vitesse du vent
X_d	valeur théorique de la propriété du matériau
X_K	valeur caractéristique de la propriété du matériau
α	coefficient de transmission de la chaleur
Φ	angle d'incidence de la direction critique du vent
γ_A	facteur partiel pour les charges accidentelles
γ_C	facteur partiel pour les forces de traction des conducteurs

γ_{CG}	facteur partiel pour les forces de traction permanentes des conducteurs
γ_{CV}	facteur partiel pour les forces de traction variables des conducteurs
γ_F	facteur partiel pour les actions
γ_G	facteur partiel pour les actions permanentes
γ_I	facteur partiel pour les charges de givre
γ_M	facteur partiel pour la propriété du matériau
γ_P	facteur partiel pour les charges de construction et de maintenance
γ_W	facteur partiel pour les charges de vent
μ_{tot}	coefficient de friction des connections boulonnées
ρ	densité de l'air
ρ_I	densité de la glace
σ_{min}	contrainte de traction minimale admissible du fil de contact
σ_w	contrainte de traction maximale admissible d'un fil de contact

4 Données de conception fondamentales

4.1 Généralités

La fonction d'une ligne aérienne de contact n'est pas seulement de transmettre de l'énergie au véhicule à partir d'installations fixes comme des sous-stations mais également de retourner aux sous-stations et à des consommateurs auxiliaires l'énergie récupérée lors du freinage des véhicules. Afin d'assurer cette fonction, les caractéristiques essentielles du système de la ligne de contact doivent être conçues conformément aux exigences spécifiées dans le présent article. En particulier, on doit prendre en compte l'intégration de la conception de la ligne de contact et des caractéristiques correspondantes d'autres systèmes interconnectés, par exemple les systèmes de distribution du courant et systèmes de traction.

Les exigences pour les lignes aériennes de contact doivent s'appliquer également aux poteaux qui sont érigés avec les systèmes de lignes aériennes de contact et utilisés pour les lignes d'alimentation.

Le captage du courant est une combinaison entre la ligne aérienne de contact et le pantographe, la qualité et la fiabilité du système de captage de courant dépendent des caractéristiques de ces deux sous-systèmes. Ces derniers doivent donc être conçus de manière à assurer leurs rôles fonctionnels. La conception doit prendre en compte la compatibilité entre ces deux systèmes.

Les spécifications énumérées du 4.2 au 4.7 sont normalement fournies par le client.

4.2 Caractéristiques de la ligne

Les caractéristiques du trafic et les exigences en matière d'exploitation à prendre en compte pour la conception doivent inclure:

- la vitesse et le niveau de performance des trains et unités motrices qui seront utilisés,
- le futur niveau de performance envisagé, qui est prévu au stade de la conception, y compris toutes tolérances en matière de dépassement de la vitesse limite,
- le type et la fréquence des circulations électriques,
- la vitesse sur grande ligne et en gare,
- le profil de la voie et l'itinéraire en y incluant les aiguillages ainsi que les raccordements,

- le type d'aiguillage.

4.3 Conception du réseau d'énergie électrique

Le système de ligne aérienne de contact doit être conçu en fonction des caractéristiques électriques découlant du système d'alimentation, comprenant

- la tension nominale et la fréquence, conformément à la CEI 60850,
- les détails concernant le courant de court-circuit,
- le régime de courant assigné requis,
- si celle-ci est stipulée, l'impédance exigée pour les systèmes à courant alternatif,
- si celle-ci est stipulée, la résistance exigée pour les systèmes à courant continu,
- le système proposé d'alimentation,
- le système proposé de retour de courant de traction,
- la mise à la terre et la protection contre les courants vagabonds, conformément à la CEI 62128-1 et la CEI 62128-2,
- les exigences pour atténuer les interférences électromagnétiques et faciliter la compatibilité électromagnétique conformément à la CEI 62236-2,
- les exigences de protection contre les surtensions,
- la coordination de l'isolement.

Il n'est pas exigé de préciser le courant de court-circuit pour les réseaux de transport public urbain.

Les lignes aériennes de contact doivent être séparées en sections électriques et en groupes de section au moyen d'isolateurs, de dispositifs de sectionnement, de sectionnements isolés, de sections neutres, de sectionneurs destinés à la maintenance, la réparation d'urgence, au fonctionnement directionnel planifié, à la sécurité des tunnels ferroviaires et à la rupture de phase.

4.4 Caractéristiques des véhicules

Les caractéristiques de distance d'isolement de tous les types de véhicules appelés à circuler sous les lignes aériennes de contact doivent être prises en compte dans la conception du système. En particulier, les paramètres ci-après doivent être déterminés:

- a) le gabarit de chargement statique et cinématique, l'enveloppe cinématique et la saillie, ainsi que toute exigence nationale ou internationale, en matière de distances aux structures;
- b) le nombre de pantographes en service, leur espacement, et s'ils sont électriquement liés ou indépendants.

4.5 Dispositifs de captage du courant

On doit connaître les caractéristiques de tous les dispositifs de captage du courant appelés à être utilisés sur cette ligne. Ces caractéristiques comprennent

- a) largeur, longueur et profil de l'archet du pantographe définis dans la CEI 60494-1 et la CEI 60494-2,
- b) nombre, matériau et espacement des bandes de frottement,
- c) force de contact statique moyenne du dispositif de captage de courant en fonction de sa hauteur d'utilisation,
- d) détails concernant le mouvement transversal de l'archet du pantographe,
- e) force de contact moyenne à la vitesse limite de la ligne,
- f) la largeur utile de l'archet du pantographe,

- g) plage de fonctionnement en hauteur entre le pantographe déployé et le pantographe replié,
- h) différentes hauteurs de réglage,
- i) modèle mathématique des caractéristiques dynamiques,
- j) inclinaison de l'archet du pantographe,
- k) nombre, position et distances des pantographes simultanément en service.

NOTE La CEI 62486 spécifie les particularités des pantographes pour les lignes interopérables.

4.6 Conditions d'environnement

Pour les conditions d'environnement, se référer à la CEI 62498-2.

4.7 Durée de vie théorique

La durée de vie théorique du système peut être celle précisée dans les spécifications du client. Des composants consommables tels que les fils de contact n'entrent pas dans la détermination de la durée de vie théorique du système. Il est également admis que des exigences particulières pour la détermination de la durée de vie théorique de ces composants soient spécifiées par le client.

5 Exigences du système

5.1 Conception du système électrique

5.1.1 Généralités

Le système de la ligne aérienne de contact doit être conçu de manière à permettre le passage du courant électrique tel que défini aux 4.2 et 4.3. Les circuits de retour et les connexions d'alimentation doivent être pris en compte lors de la conception. Il doit également prendre en compte les courts-circuits.

5.1.2 Echauffement des conducteurs

La ligne aérienne de contact doit être conçue de manière à supporter les charges de courant électrique définies dans le cadre de la conception du système, y compris les circuits de retour et les connexions d'alimentation, dans les conditions d'environnement précisées dans la CEI 62498-2.

L'échauffement maximal des conducteurs, provoqué par les courants de charge, ne doit pas se traduire par des températures des conducteurs susceptibles d'altérer les propriétés mécaniques des matériaux dont ils sont constitués. Voir également 7.3 et 7.4.

L'échauffement causé par le courant doit être pris en compte en même temps que la température ambiante et l'apport solaire afin de déterminer les tolérances mécaniques et dimensionnelles à prévoir pour la dilatation maximale des conducteurs, ainsi que les tolérances géométriques pour satisfaire à l'isolement électrique et à la hauteur du fil de contact. La conception doit tenir compte du courant du pantographe à l'arrêt.

Les températures au-delà desquelles ces propriétés mécaniques peuvent être altérées sont données au Tableau 1 pour les différentes compositions des matériaux des conducteurs soumis à des contraintes de traction qui sont utilisés dans les lignes de contact.

Tableau 1 – Limites de température pour les propriétés mécaniques des matériaux

Matériau	Température °C		
	Jusqu'à 1 s (courant de court-circuit)	Jusqu'à 30 min (pantographe au repos)	Permanent (service normal)
Cuivre normal et à haute résistance mécanique, doté d'une haute conductivité	170	120	80
Cuivre allié à l'argent	200	150	100
Cuivre allié à l'étain	170	130	100
Cuivre allié au magnésium/bronze (0,2)	170	130	100
Cuivre allié au magnésium/bronze (0,5)	200	150	100
Alliages d'aluminium	130	-	80
ACSR / AACSR	160	-	80

Pour les nouveaux produits, il peut être nécessaire de réduire ces valeurs avant de disposer d'une expérience de fonctionnement suffisante.

Pour des températures supérieures à celles du Tableau 1, on doit vérifier l'éventuelle réduction de la résistance mécanique du conducteur en fonction de la durée d'influence de ces températures et augmenter, si nécessaire, le dimensionnement.

NOTE Au Japon, l'expérience a montré depuis longtemps de manière satisfaisante que la température permanente la plus élevée des fils en cuivre, en aluminium et ACSR est de 90 °C.

Lors du calcul de l'échauffement d'un conducteur, il convient de prendre en compte les contributions suivantes:

- l'échauffement provoqué par le courant;
- l'échauffement provoqué par les conditions d'environnement;
- la chaleur émise par rayonnement du conducteur;
- la chaleur émise par convection du conducteur qui est tributaire de la vitesse de vent.

Les paramètres environnementaux (température ambiante, vitesse de vent et échauffement dû au rayonnement solaire) doivent être spécifiés par le client.

La température du fil de contact à l'interface avec les bandes de frottement ne doit pas dépasser la valeur appropriée donnée dans le Tableau 1.

5.1.3 Distances d'isolement entre les parties sous tension des lignes de contact et la terre

Les distances d'isolement dans l'air recommandées entre la terre et les parties sous tension de la ligne aérienne de contact sont définies dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Distances d'isolement électrique

Tension nominale	Distances d'isolement minimales recommandées mm	
	Statique	Dynamique
Courant continu 600 V (720 V) ^a	100	50
Courant continu 750 V (900 V)	100	50
Courant continu 1,5 kV (1,8 kV)	100	50
Courant continu 3,0 kV (3,6 kV)	150	50
Courant alternatif 15 kV (17,25 kV)	150	100
Courant alternatif 20 kV (24 kV)	250	150
Courant alternatif 25 kV (27,5 kV)	270	150
Courant alternatif 25 kV (30 kV)	300	150 ^b
^a Seulement pour les systèmes existants. ^b Cette valeur est égale à 300 mm au Japon. Les valeurs entre parenthèses représentent la tension permanente la plus élevée.		

Des distances d'isolement différentes pour les cas "statique" et "dynamique" sont justifiées par des considérations probabilistes (probabilité ou temps, par exemple). Par exemple, il est improbable qu'une surtension puisse se produire exactement au moment même où un pantographe franchit la partie étroite d'un tunnel. Pour ce cas "dynamique" ou momentané, la distance d'isolement dynamique est justifiée.

Pour les isolateurs de section, il est admis de réduire les valeurs statiques de la distance d'isolement recommandées au Tableau 2 pour assurer une performance dynamique acceptable du pantographe et de la ligne aérienne de contact.

Les valeurs statiques inférieures applicables aux isolateurs de section ne doivent pas être inférieures à;

- 50 mm jusqu'à 3 kV,
- 100 mm pour 15 kV,
- 150 mm pour 25 kV.

Les règlements nationaux peuvent spécifier des valeurs plus élevées pour les isolateurs de section.

Les distances d'isolement indiquées au Tableau 2 peuvent être réduites ou majorées en fonction de différents facteurs, par exemple la tension permanente la plus élevée, les conditions orageuses, l'humidité absolue, la plage des températures ambiantes, la pression de l'air, la pollution, la densité relative de l'air, la forme et le type des matériaux des structures sous tension ou bien mises à la terre (se référer à la CEI 62498-2). Toutefois, chaque cas doit être considéré individuellement.

Il convient d'appliquer les valeurs des distances d'isolement indiquées au Tableau 2 aux distances d'isolement entre les parties sous tension contiguës de la ligne de contact de différentes sections dont les tensions et les phases sont identiques.

Il convient d'utiliser des parafoudres ou d'autres moyens dans les zones où des surtensions de foudre peuvent apparaître très fréquemment lorsque les distances d'isolement avec les structures à la masse ne suffisent pas à éviter un amorçage.

5.1.4 Distances d'isolement entre lignes de contact contiguës en courant alternatif de phases différentes

Pour un système de ligne aérienne de contact, il peut exister une différence de phase entre les différentes parties du système, provoquant une tension entre phases supérieure à la tension nominale. Dans le cas des réseaux à 15 kV et 25 kV avec autotransformateur, il y a une différence de phase de 180° entre toutes les parties sous tension communes à la ligne d'alimentation et toutes les parties sous tension communes à la ligne aérienne de contact.

Dans le cas des réseaux en courant alternatif monophasés, la différence de phase entre 90° et 180° au niveau des sections neutres se traduit par un effet analogue.

Le Tableau 3 fournit des recommandations pour les distances d'isolement dans l'air qu'il convient de respecter entre les organes sous tension d'un système d'alimentation à courant alternatif présentant des phases différentes.

Tableau 3 – Distances d'isolement entre phases différentes

Tension nominale kV	Différence de phase degrés	Tension relative kV	Distances d'isolement recommandées	
			Statique mm	Dynamique mm
15 (17,25)	120	26	260	175
15 (17,25)	180	30	300	200
20 (24)	90	28,2	300	200
20 (24)	120	34,6	300	200
25 (27,5)	120	43,3	400	230
25 (27,5)	180	50	540	300
25 (30)	90	35,3	500	350
25 (30)	120	43,3	500	350

Les valeurs entre parenthèses représentent la tension permanente la plus élevée.

Lorsque le pantographe franchit un sectionnement à lame d'air, il y a pendant un court instant une tension entre phases. Par conséquent, les distances d'isolement entre les deux lignes de contact doivent être en accord avec les valeurs dynamiques données dans le Tableau 3. Ces distances d'isolement doivent être conservées dans tous les cas.

5.2 Conception des systèmes de captage de courant

5.2.1 Généralités

La conception du système de ligne aérienne de contact et du pantographe doit prendre en compte la vitesse appropriée exigée.

Il convient que la performance de la ligne aérienne de contact et du pantographe tienne compte des caractéristiques géométriques et statiques. Le comportement dynamique peut être prédit par une simulation informatique au moment de la conception et peut être quantifié par des mesures faites sur le système installé de ligne aérienne de contact. En Europe, les programmes de simulation doivent être validés conformément à la EN 50318 et les mesures doivent être réalisées conformément aux exigences de la EN 50317. Pour les pays non européens, les normes EN 50317 et EN 50318 sont informatives et il convient de les utiliser à moins que l'acheteur n'ait indiqué certaines normes nationales applicables en priorité.

Sur une rame dotée de pantographes multiples, on doit évaluer à la fois les performances de l'ensemble et de chacun des pantographes.

Il n'est pas nécessaire de prendre en considération le comportement dynamique des réseaux dont la vitesse est inférieure à 100 km/h.

NOTE Des critères techniques d'interaction entre le pantographe et la ligne aérienne de contact pour la réalisation du libre accès aux infrastructures ferroviaires sont donnés dans la CEI 62486.

5.2.2 Elasticité et variation

Il convient que la ligne aérienne de contact soit conçue de manière à ne présenter qu'une faible variation, u , de l'élasticité, e . L'élasticité e exprimée en millimètres par Newton (mm/N), est le soulèvement par effort mesuré sur le fil de contact. Sur chaque portée, il existe un point d'élasticité maximale et un point d'élasticité minimale. Les valeurs d'élasticité doivent être des valeurs statiques. Ces valeurs décrivent la variation u :

$$u = \frac{e_{\max} - e_{\min}}{e_{\max} + e_{\min}} \times 100 \text{ [%]} \quad (1)$$

NOTE 1 La valeur u est aussi appelée degré de non-uniformité.

NOTE 2 De faibles élasticités ne donnent pas toujours lieu à une faible variation.

L'élasticité ainsi que sa variation dépendent de la configuration de la ligne aérienne de contact. Pour le système de la ligne aérienne de contact, on doit tenir compte des principaux facteurs suivants:

- le nombre de fils de contact et de câbles porteurs longitudinaux;
- la tension des fils de contact et des câbles porteurs longitudinaux;
- la longueur de la portée;
- la présence de câbles en Y;
- le type de support;
- le type, le nombre et la localisation des pendules.

Si des simulations dynamiques ne sont pas réalisées, l'élasticité et sa variation peuvent être spécifiées par le client.

Il convient normalement de calculer l'élasticité avec une force égale, soit à la force de contact moyenne à la vitesse limite de la ligne, soit au double de la force de contact statique. Des informations relatives aux valeurs raisonnablement applicables figurent dans l'Annexe D informative.

5.2.3 Mouvement vertical du point de contact

Le point de contact est le point de contact mécanique entre la bande de frottement et le fil de contact.

La ligne aérienne de contact doit être conçue pour que la hauteur du point de contact par rapport à la voie soit aussi uniforme que possible tout le long de la portée. Ceci est primordial pour un bon captage du courant.

La différence maximale admissible de hauteur entre les points de contact dynamiques le plus élevé et le plus bas dans une portée doit être spécifiée par le client.

Ceci doit être vérifié par des mesures ou des simulations. La vérification doit inclure la vitesse maximale autorisée par la ligne aérienne de contact en considérant la force de contact moyenne et la portée la plus longue.

Il n'est pas nécessaire de vérifier ce point pour les chevauchements ou les aiguillages. Il convient de tenir compte du soulèvement du fil de contact au-dessus des sectionneurs et des sectionnements.

5.2.4 Vitesse de propagation des ondes

Les ondes provoquées par les efforts du pantographe sur le(s) fil(s) de contact ont une vitesse de propagation. Il convient que la ligne aérienne de contact soit conçue pour assurer une vitesse d'exploitation maximale de la ligne ne dépassant pas 70 % de la vitesse de propagation de l'onde, V_c , sur le fil de contact.

$$V_c = \sqrt{\frac{\sum z}{\sum m}} \quad (2)$$

où

V_c est exprimée en m/s;

$\sum z$ est la somme des charges en service des fils de contact exprimée en Newton (N);

$\sum m$ est la somme de la masse linéique du fil de contact exprimée en kilogrammes par mètre (kg/m).

Il est permis d'omettre de calculer la vitesse de propagation de l'onde pour les réseaux de transport public urbain.

5.2.5 Qualité du captage de courant

5.2.5.1 Généralités

Les pantographes et les lignes aériennes de contact doivent être conçus et installés de façon à assurer un captage de courant acceptable à toute vitesse de fonctionnement, y compris à l'arrêt.

Le cycle de vie des bandes de frottement et des fils de contact dépend essentiellement

- du comportement dynamique de la ligne aérienne de contact et du pantographe,
- du flux de courant,
- des surfaces de contact et du nombre de bandes de frottement,
- du matériau des bandes de frottement et du fil de contact,
- de la vitesse du train, du nombre de pantographes en service et de la distance qui les sépare,
- de la géométrie de la ligne de contact,
- des conditions d'environnement,
- de l'élasticité et de leur uniformité,
- de la tension mécanique du fil de contact,
- de la conception du pantographe et de la force de contact.

5.2.5.2 Forces de contact

Le matériel des lignes aériennes de contact doit être conçu pour accepter une force de contact maximale autorisée entre le pantographe et le fil de contact. Les effets aérodynamiques survenant à la vitesse maximale autorisée du véhicule doivent être pris en compte.

La force de contact minimale doit être positive pour garantir l'absence de perte de contact entre le pantographe et la ligne aérienne de contact.

Lorsque plusieurs pantographes sont connectés par une ligne omnibus, une perte de contact de courte durée est admise. L'évaluation de la conformité doit faire l'objet d'un accord entre le client et le fournisseur.

Les forces varient en fonction des combinaisons des pantographes et des systèmes de lignes aériennes de contact. Les valeurs mesurées ou simulées des forces de contact entre le fil de contact et la bande de frottement ne doivent pas dépasser les valeurs données dans le Tableau 4.

Lorsque le captage du courant est défini en utilisant les forces de contact, les critères de qualité du captage de courant doivent être la force de contact moyenne et l'écart type.

La force de contact moyenne augmentée de 3 écarts types doit être inférieure ou égale aux valeurs maximales du Tableau 4. La force de contact moyenne diminuée de 3 écarts types doit être positive.

Tableau 4 – Force de contact

Système	Vitesse km/h	Force de contact	
		Maximale N	Minimale N
Courant alternatif	≤ 200	300	> 0
Courant alternatif	> 200	350	> 0
Courant continu	≤ 200	300	> 0
Courant continu	> 200	400	> 0

Pour les composants rigides comme les isolateurs de section des systèmes de lignes aériennes de contact jusqu'à 200 km/h, la force de contact peut augmenter jusqu'à un maximum de 350 N.

Il n'est pas nécessaire de prendre en considération le comportement dynamique des réseaux de transport public urbain. Dans ce cas, la force de contact statique doit être supérieure ou égale à 60 N. Les valeurs pour les systèmes de trolleybus sont spécifiées au 5.13.5.

NOTE La CEI 62486 spécifie les forces de contact pour les lignes interopérables.

5.2.5.3 Perte de contact

Un captage de courant de haute qualité s'effectue par un contact mécanique continu entre le fil de contact et la bande de frottement. Si ce contact est interrompu, il se produit un amorçage qui augmente l'usure du fil de contact et de la bande de frottement.

Lorsque le captage du courant est défini en utilisant la perte de contact, la fréquence et la durée de l'arc doivent représenter les critères de qualité du captage de courant. Lorsqu'on utilise ces critères, les paramètres et l'évaluation des essais doivent être choisis conformément aux spécifications du client. Ceci est également applicable lorsque plusieurs pantographes sont connectés par une ligne omnibus.

NOTE Les exigences des lignes interopérables sont données dans la CEI 62486.

5.2.5.4 Fatigue du fil de contact

Le glissement du pantographe sur le fil de contact accroît la contrainte de courbure que subit le fil. Avec une vitesse plus élevée des trains et un nombre plus important de pantographes glissant sur le fil, la contrainte de courbure serait plus importante et, dans certains cas spécifiques, la fatigue peut réduire la durée de vie du fil à une valeur inférieure à sa période

d'usure. La conception des lignes aériennes de contact peut prendre en compte la contrainte de courbure du fil de contact.

5.3 Conception mécanique des charges du fil de contact

5.3.1 Contrainte de traction admissible σ_w

La contrainte de traction maximale admissible en service σ_w d'un fil de contact dépend des paramètres indiqués du 5.3.2 au 5.3.7. Tous ces paramètres doivent être pondérés par un facteur individuel. La contrainte de traction minimale du fil de contact σ_{\min} doit être multipliée par le produit de ces facteurs et d'un coefficient de sécurité n inférieur ou égal à 0,65 afin d'obtenir la contrainte de traction maximale admissible en service.

Les valeurs du Tableau 5 et du Tableau 7 peuvent être interpolées.

La contrainte de traction maximale admissible en service d'un fil de contact non utilisé doit être déterminée par la formule suivante:

$$\sigma_w = \sigma_{\min} \times n \times K_{\text{temp}} \times K_{\text{wear}} \times K_{\text{icewind}} \times K_{\text{eff}} \times K_{\text{clamp}} \times K_{\text{joint}} \quad (3)$$

Cette formule donne les exigences minimales qui peuvent être augmentées par les règlements nationaux.

5.3.2 Température maximale K_{temp}

La résistance à la traction et le fluage des fils de contact dépendent de la température maximale en service. Le Tableau 5 donne le facteur K_{temp} qui exprime la relation entre la contrainte de traction admissible et la température maximale en service du fil de contact.

Tableau 5 – Facteur K_{temp} pour fils de contact

Matériau du fil de contact	K_{temp}	
	Température maximale ≤ 80 °C	Température maximale = 100 °C
Cu	1,0	0,8
Cu-Ag 0,1	1,0	1,0
Cu-Sn	1,0	1,0
Cu-Mg	1,0	1,0

Pour les nouveaux produits, il peut être nécessaire de réduire ces valeurs avant de disposer d'une expérience de fonctionnement suffisante.

Pour des températures maximales en service supérieures à 100 °C, il est nécessaire de vérifier la possibilité de réduire la résistance mécanique du conducteur sur l'ensemble de sa durée de vie par des essais de type. Le facteur K_{temp} doit être ajusté selon la résistance à la traction résiduelle du fil de contact.

Malgré les exigences de contrainte de traction admissible, il convient de tenir compte de la tenue au fluage du matériau du fil de contact. Pour atteindre cette tenue au fluage, il convient d'adopter une contrainte de traction et/ou une température de service inférieure, dans les limites de l'acceptable.

5.3.3 Usure admissible K_{wear}

Des dispositions relatives à l'usure admissible doivent être prises en appliquant un facteur approprié à l'usure admissible.

$$K_{\text{wear}} = 1 - x \quad (4)$$

où

x est l'usure admissible en pour cent / 100.

5.3.4 Charges dues au vent et au givre K_{icewind}

L'effet des charges de vent et de givre sur la résistance maximale à la traction du fil de contact est fonction de la conception des lignes aériennes de contact. Le facteur K_{icewind} dépend des charges de vent et de givre, ainsi que du type de ligne aérienne de contact conformément au Tableau 6.

Tableau 6 – Facteur K_{icewind} pour fils de contact

Type de ligne aérienne de contact	Charge due au vent et au givre	Charge due au vent
Fil de contact et porteur auto-tendus	0,95	1,00
Fil de contact auto-tendu et porteur avec ancrage fixe	0,90	0,95
Fil de contact unique auto-tendu	0,90	0,95
Fil de contact et porteur avec ancrage fixe	0,70	0,80

5.3.5 Efficacité des équipements tendeurs K_{eff}

L'efficacité des équipements tendeurs est définie par le facteur K_{eff} . Dans le cas d'une conception standard et d'installation d'équipements tendeurs, K_{eff} est supposé être égal à l'efficacité spécifiée et prouvée par le fournisseur.

En présence d'ancrages fixes, K_{eff} doit être égal à 1,0.

5.3.6 Pièces d'extrémité K_{clamp}

L'effet dû aux pièces d'extrémité est défini par le facteur K_{clamp} qui doit être égal à 1,00 si l'effort de serrage est supérieur ou égal à 95 % de la résistance à la traction du fil de contact. Dans les autres cas, K_{clamp} doit être égal au rapport de l'effort de serrage à la résistance à la traction.

5.3.7 Joints K_{joint}

L'effet des joints est défini par le facteur K_{joint} . Il doit être égal à 1,00 en absence de joint ou si les valeurs de la résistance à la traction et de l'allongement en pourcentage après rupture au niveau d'un joint sont conformes aux valeurs spécifiées du matériau du fil. Dans les autres cas, K_{joint} doit être égal au rapport de la résistance à la traction du joint à la résistance maximale à la traction du fil de contact. La résistance minimale à la traction du joint doit être conforme à la EN 50149 en Europe.

5.4 Conception mécanique des charges du câble porteur

5.4.1 Charge admissible à la traction F_w

La charge de traction maximale admissible en service du câble porteur dépend des paramètres définis du 5.4.2 au 5.4.7. Tous ces paramètres doivent être pondérés selon un facteur individuel. La charge de rupture minimale $F_{B\text{min}}$ du câble porteur doit être multipliée par le produit de ces facteurs et par un facteur n inférieur ou égal à 0,65 afin d'obtenir la charge de traction maximale admissible en service.

La charge de traction maximale admissible en service doit être déterminée à partir de:

$$F_w = F_{Bmin} \times n \times K_{temp} \times K_{wind} \times K_{ice} \times K_{eff} \times K_{clamp} \times K_{load} \quad (5)$$

Cette formule donne les exigences minimales qui peuvent être augmentées par les règlements nationaux.

5.4.2 Température maximale K_{temp}

Le facteur K_{temp} est estimé à 1,0 dans la mesure où la température maximale en service ne dépasse pas les valeurs données dans le Tableau 1. Pour des températures en service supérieures, on doit réduire le facteur conformément à la réduction autorisée en pourcentage de la résistance à la traction.

Tableau 7 – Facteur K_{temp} pour conducteurs toronnés

Type de conducteur toronné	K_{temp}	
	Température maximale ≤ 80 °C	Température maximale = 100 °C
Cu	1,0	0,8
Alliage Al	1,0	0,8
Cu Ag	1,0	1,0
Cu-Sn 0,4	1,0	1,0
Cu-Mg / acier	1,0	1,0
ACSR / AACSR	1,0	0,8

Pour les nouveaux produits, il peut être nécessaire de réduire ces valeurs tant que l'on ne dispose pas d'une expérience de fonctionnement suffisante.

Pour des températures maximales en service supérieures à 100 °C, on doit déterminer la possibilité de réduire la résistance mécanique du conducteur sur l'ensemble de sa durée de vie par des essais de type. Le facteur K_{temp} doit être ajusté selon la résistance à la traction résiduelle du fil de contact indiquée dans le Tableau 7.

5.4.3 Charges dues au vent K_{wind}

La charge due au vent est définie par un facteur K_{wind} lequel dépend de la vitesse du vent conformément au Tableau 8.

Tableau 8 – Facteur K_{wind} pour conducteurs toronnés

Type d'ancrage	K_{wind}	
	Vitesse du vent ≤ 100 km/h	Vitesse du vent > 100 km/h
Auto-tendu	1,00	0,95
A ancrage fixe	0,95	0,90

5.4.4 Charges dues au givre K_{ice}

L'effet des charges de givre doit être pris en compte pour la détermination de la charge maximale en service des conducteurs toronnés. Le facteur K_{ice} dépend du type d'ancrage conformément au Tableau 9.

Tableau 9 – Facteur K_{ice} pour conducteurs toronnés

Type d'ancrage	K_{ice}
Auto-tendu	1,00

A ancrage fixe	0,95
----------------	------

5.4.5 Précision et efficacité des équipements tendeurs K_{eff}

La précision et l'efficacité des équipements tendeurs sont définies par le facteur K_{eff} . Dans le cas d'une conception standard et de l'installation d'équipements tendeurs, K_{eff} doit être égal à l'efficacité spécifiée et prouvée par le fournisseur.

En présence d'ancrage fixe, K_{eff} doit être égal à 1,0.

5.4.6 Pièces d'extrémité K_{clamp}

L'effet dû aux pièces d'extrémité est défini par le facteur K_{clamp} qui doit être égal à 1,00 si l'effort de serrage est supérieur ou égal à 95 % de la charge de rupture assignée (RTS) calculée du câble. Dans les autres cas, K_{clamp} doit être égal au rapport de l'effort de serrage à la charge de rupture assignée.

5.4.7 Charge verticale supplémentaire K_{load}

L'effet des charges verticales liées aux porteurs est défini par un facteur K_{load} égal à 0,8. Tout câble porteur ne subissant aucune charge verticale doit se voir affecter un facteur K_{load} égal à 1,0.

Les charges des pendules ne sont pas comprises dans la définition du facteur K_{load} .

5.5 Conception mécanique des autres conducteurs toronnés

Les exigences du 5.4.1 au 5.4.7 ne doivent s'appliquer aux conducteurs toronnés autres que les porteurs que si la charge de service excède 40 % de la charge de rupture calculée du conducteur.

Pour le calcul des charges de fonctionnement, il convient de prendre en compte les cas de charge de 6.3.1.

5.6 Conception mécanique des fils massifs

Les fils massifs, autres que les fils de contact de la ligne aérienne de contact, ne doivent pas être tendus à plus de 40 % de la charge minimale de rupture.

5.7 Conception mécanique des charges des câbles en matériaux non conducteurs

5.7.1 Généralités

L'utilisation de câbles en matériaux non conducteurs peut être limitée à leur charge de service calculée. On doit prêter une attention particulière aux sollicitations en cisaillement, au rayon de courbure, aux dispositions en matière d'ancrage et à l'allongement. Ces exigences s'appliquent aux câbles composés de fibres synthétiques et possédant une gaine synthétique extérieure assurant la protection des fibres. Se reporter à la EN 50345 en Europe pour de plus amples informations.

5.7.2 Charge admissible à la traction F_w

La charge admissible à la traction d'un câble doit être pondérée par un facteur individuel (voir 5.7.3 à 5.7.7). La charge de rupture minimale $F_{B\text{min}}$ des fibres combinées doit être multipliée par le produit de ces facteurs et par un facteur n inférieur ou égal à 0,45 afin d'obtenir la charge de traction maximale admissible en service.

La charge de traction maximale admissible en service doit être déterminée à partir de

$$F_w = F_{Bmin} \times n \times K_{wind} \times K_{ice} \times K_{clamp} \times K_{load} \times K_{radius} \quad (6)$$

Cette formule donne les exigences minimales qui peuvent être augmentées par les règlements nationaux.

5.7.3 Charges dues au vent K_{wind}

La charge due au vent est définie par le facteur K_{wind} , en fonction de la vitesse du vent:

$K_{wind} = 1,00$ pour une vitesse de vent ≤ 100 km/h;

$K_{wind} = 0,90$ pour une vitesse de vent > 100 km/h.

5.7.4 Charges dues au givre K_{ice}

Les effets des charges dues au givre doivent être pris en compte:

$K_{ice} = 0,95$.

5.7.5 Pincés d'extrémité K_{clamp}

L'effet des pièces d'extrémité doit être défini par le facteur K_{clamp} :

$K_{clamp} = 1,00$ pour des pièces d'extrémités à coincement conique;

$K_{clamp} = 0,80$ pour les autres types.

5.7.6 Charges verticales K_{load}

L'effet des charges verticales doit être défini en utilisant le facteur K_{load} :

$K_{load} = 0,7$ dans le cas d'application de charges verticales;

$K_{load} = 1,0$ dans le cas de non-application de charges verticales.

Les indicateurs de direction ou les câbles d'alimentation de signaux lumineux et de la ligne aérienne de contact sont des exemples de charges verticales à considérer.

5.7.7 Rayon de courbure minimal K_{radius}

L'effet du rayon sur les câbles doit être défini par le facteur K_{radius} selon le Tableau 10.

Tableau 10 – Facteur K_{radius} pour câbles en matériaux non conducteurs

Rayon de courbure r m	K_{radius}
$r \geq 1$	1
$0,5 \leq r < 1$	0,9
$0,2 \leq r < 0,5$	0,8
$0,1 \leq r < 0,2$	0,7
$r < 0,1$	0,5

5.8 Systèmes de suspension

Les équipements auto-tendus doivent être suspendus à des supports qui autorisent un mouvement longitudinal. Les ancrages fixes peuvent être raccordés à des supports fixes. Sur les lignes où les vitesses sont supérieures à 100 km/h ou lorsque l'appel de puissance est élevé, il convient d'utiliser une suspension par porteur longitudinal. Lorsque des rails aériens de contact sont utilisés, des suspensions de caténaires ne sont pas nécessaires.

5.9 Equipement tendeur

Les tensions mécaniques dans les fils de contact et les câbles porteurs longitudinaux doivent être maintenues à l'intérieur des paramètres de conception du système. Afin d'obtenir un captage du courant convenable pour des vitesses de circulation supérieures à 100 km/h, les fils de contact doivent être auto-tendus. Les câbles porteurs longitudinaux doivent également être auto-tendus lorsque les paramètres du système le requièrent.

Pour les vitesses supérieures à 225 km/h, le porteur et le fil de contact doivent être auto-tendus indépendamment.

Selon les conditions spéciales applicables au Japon, il est possible, dans ce pays, d'utiliser au-delà de 225 km/h un seul équipement tendeur pour tous les fils si la tension de chaque fil peut être maintenue correctement.

La tension mécanique locale d'une ligne aérienne de contact régularisée peut varier suite à des déplacements longitudinaux à la voie des anti-balançants et des consoles. La variation maximale admissible de la tension mécanique de la ligne aérienne de contact doit être prise en considération.

5.10 Géométrie de la ligne aérienne

5.10.1 Déflexion horizontale du fil de contact

Dans des conditions d'environnement et des tolérances mécaniques définies, la déflexion horizontale du fil de contact et du pantographe doit assurer que le fil de contact ne puisse jamais glisser en dehors de l'archet du pantographe, sauf s'il a été spécialement conçu dans ce but aux zones de changement de fil de contact. Une valeur minimale du désaxement à appliquer doit être spécifiée pour chaque projet afin de conserver des distances d'isolement suffisantes et de limiter l'usure du fil de contact et de l'archet du pantographe. Dans les conditions d'exploitation, le fil de contact doit être contenu à l'intérieur de la largeur utile du pantographe.

La force du vent sur les conducteurs doit être évaluée et la déflexion maximale perpendiculaire à la voie qui en résulte doit être déterminée dans les deux directions. L'évaluation de la force du vent sur des conducteurs individuels doit être conforme aux exigences d'aptitude à l'usage de 6.2.4.1 et la vitesse maximale du vent en service pour des portées individuelles, soit, le cas échéant, aux conditions nationales spéciales.

Pour le calcul de la déflexion du fil de contact, les forces du vent doivent être appliquées aux fils de contact et aux câbles porteurs longitudinaux. Il est permis de considérer également les pendules.

Le mouvement résultant du fil de contact tout le long de la voie et sans vent, augmenté du désaxement, ainsi que la déflexion de la structure, doit entraîner un écart du fil de contact dans les valeurs maximales permises par la conception du système.

De même, les distances d'isolement mécaniques et électriques des conducteurs aux autres parties de l'infrastructure ferroviaire exposées au vent doivent être vérifiées.

5.10.2 Soulèvement

Le soulèvement théorique du fil de contact au niveau du support, pour une longueur de portée maximale en conditions de service normal, doit être fixé ou évalué par le calcul, la simulation ou des mesures. Le soulèvement admissible et sans restriction du fil de contact au niveau du support doit être au minimum égal à deux fois celui du soulèvement théorique. Si des restrictions au soulèvement du fil de contact sont incluses dans la conception, une valeur supérieure ou égale à 1,5 doit être utilisée.

5.10.3 Variation de la hauteur du fil de contact

S'il s'avère nécessaire en cas de configurations particulières, par exemple les ponts, d'avoir une variation de la hauteur du fil de contact, celle-ci doit être réalisée avec une pente aussi faible que possible. Les valeurs théoriques de la pente et des variations de la pente en fonction de la vitesse, ne doivent pas dépasser les valeurs données au Tableau 11.

Tableau 11 – Pentes des fils de contact

Vitesse jusqu'à km/h	Pente maximale		Variation maximale de la pente	
		‰		‰
50	1/40	25	1/40	25
60	1/50	20	1/100	10
100	1/167	6	1/333	3
120	1/250	4	1/500	2
160	1/300	3,3	1/600	1,7
200	1/500	2	1/1 000	1
250	1/1 000	1	1/2 000	0,5
> 250	0	0	0	0

5.10.4 Hauteur minimale du fil de contact

La hauteur minimale du fil de contact doit toujours être supérieure à la saillie du gabarit, en tenant compte également de la distance d'isolement dans l'air, et de la hauteur minimale du pantographe en service, ceci pour éviter un amorçage entre le fil de contact et les masses des véhicules.

Voir la Figure 1 pour la relation entre les hauteurs des fils de contact et les hauteurs des pantographes en service.

5.10.5 Hauteur minimale théorique du fil de contact

La hauteur minimale théorique du fil de contact doit être calculée en ajoutant tous les mouvements descendants du fil de contact jusqu'à la hauteur minimale. On doit prendre en compte

- la tolérance verticale de la position de la voie,
- la tolérance à l'installation pour le mouvement descendant du fil de contact,
- les mouvements dynamiques descendants du fil de contact,
- les effets du givre et de la température sur les conducteurs.

5.10.6 Hauteur nominale du fil de contact

La hauteur nominale pour une ligne aérienne de contact donnée peut être choisie librement entre la hauteur théorique minimale et la hauteur théorique maximale du fil de contact.

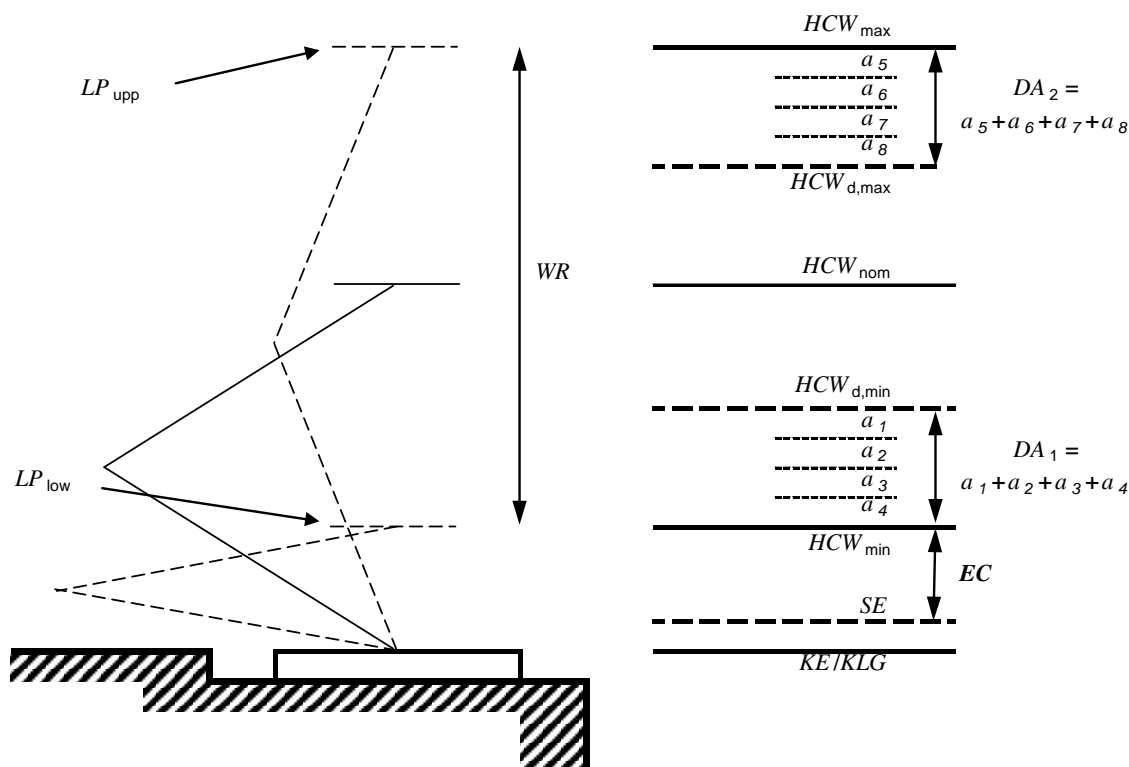
NOTE La CEI 62486 spécifie les hauteurs du fil de contact des lignes interopérables.

5.10.7 Hauteur maximale théorique du fil de contact

La hauteur maximale théorique du fil de contact doit être obtenue en déduisant les éventuels mouvements ascendants du fil de contact de la hauteur maximale du pantographe en service. On doit prendre en compte

- la tolérance verticale de la position de la voie,
- le soulèvement du fil de contact par le pantographe,

- les soulèvements dynamiques du fil de contact,
- la tolérance à l'installation pour le mouvement ascendant,
- le soulèvement du fil de contact dû à l'usure,
- le soulèvement du fil de contact dû aux effets des variations de température des conducteurs.



IEC 256/13

Légende

- LP_{upp} position supérieure en service du pantographe ou de la tête de trolley (voir CEI 60494-1)
- LP_{low} position inférieure en service du pantographe ou de la tête de trolley (voir CEI 60494-1)
- WR plage de fonctionnement du pantographe ou de la tête de trolley (voir CEI 60494-1)
- KE/KLG hauteur d'enveloppe cinématique / du gabarit de chargement cinématique
- SE hauteur de saillie du gabarit
- EC distances d'isolement
- HCW_{min} hauteur minimale du fil de contact
- HCW_{max} hauteur maximale du fil de contact
- $HCW_{d,min}$ hauteur minimale théorique du fil de contact
- $HCW_{d,max}$ hauteur maximale théorique du fil de contact
- HCW_{nom} hauteur nominale du fil de contact
- DA_1 tolérances théoriques au-dessus de HCW_{min}
 - a_1 tolérance verticale de la position de la voie (si non inclus dans l'enveloppe/le gabarit)
 - a_2 tolérance à l'installation pour le mouvement descendant du fil de contact
 - a_3 mouvements dynamiques descendants du fil de contact
 - a_4 effets du givre et de la température sur les conducteurs
- DA_2 tolérances théoriques au-dessous de HCW_{max}
 - a_5 tolérance verticale de la position de la voie
 - a_6 soulèvement du fil de contact par le pantographe et mouvement dynamique du fil de contact
 - a_7 tolérance à l'installation pour le mouvement ascendant du fil de contact
 - a_8 soulèvement du fil de contact causé par l'usure et toute variation de température des conducteurs

Figure 1 – Relation entre les hauteurs du fil de contact et la position du pantographe en service

5.11 Disposition de la ligne de contact au dessus des aiguillages et des croisements

Les lignes de contact au-dessus des aiguillages et des croisements de voies doivent être conçues de façon à pouvoir être traversées dans toute direction prévue aux vitesses prévues conformément aux exigences sur la plage autorisée des forces de contact (Tableau 4).

La conception des points de croisement ainsi que la configuration et la géométrie des lignes de contact tangentielles doivent assurer qu'aucun fil de contact ne puisse glisser sous l'archet du pantographe. On doit prendre en compte le balancement et l'inclinaison du pantographe ainsi que le soulèvement du fil de contact et la déflexion latérale due au vent. Au point où le fil de contact entrant touche l'archet du pantographe, les deux fils de contact doivent être placés du même côté de l'archet du pantographe par rapport à son axe central.

Des remèdes adéquats, par exemple des barres de contact transversales et des pendules croisés doivent être employés pour garantir que les deux fils de contact se soulèvent lors du passage d'un pantographe. On doit tenir compte des dilatations longitudinales liées à la température des fils de contact quand on adopte de tels remèdes.

Pour éviter l'usage de contacts transversaux, il est permis d'utiliser d'autres dispositifs afin de prévenir les effets d'un soulèvement dynamique important du pantographe.

5.12 Dispositifs de sectionnement

Les sectionnements doivent permettre au pantographe de passer d'un canton de pose au suivant sans réduction de la vitesse ni interruption de l'alimentation de l'unité de traction. Le nombre et les longueurs de portées, y compris les différences de longueur des portées adjacentes, ainsi que les pentes du fil de contact dans les sectionnements doivent être conçus de telle sorte que la plage autorisée des forces de contact et les différences d'élasticité autorisées soient respectées. Il est nécessaire de tenir compte des vitesses maximales de circulation et des rayons des voies.

Pour des sectionnements dans des équipements auto-tendus, les supports des équipements des deux lignes de contact doivent permettre aux lignes de contact de se mouvoir librement compte tenu de la dilatation longitudinale due à la température.

Pour les sectionnements isolés, la distance d'isolement dynamique minimale des conducteurs parallèles doit être maintenue dans les conditions climatiques spécifiées. La distance d'isolement statique exigée dans l'air doit être respectée.

Il convient que les sectionnements non isolés soient connectés de façon permanente par une connexion. Il convient que les sectionnements isolés, en condition normale de fonctionnement, soient connectés par un sectionneur ou via une sous-station.

5.13 Exigences spécifiques aux lignes aériennes de contact des trolleybus

5.13.1 Généralités

Les caractéristiques d'une ligne aérienne de contact pour les applications de trolleybus sont celles de fils de contact jumelés qui sont électriquement séparés.

La fonction d'une ligne aérienne de contact de trolleybus est de transmettre l'énergie des sous-stations aux trolleybus et d'assurer son retour, le tout dans les conditions de protection requises. Pour remplir cette fonction, le système électrique, constitué de câble et de câble d'alimentation/de retour, doit être conçu de manière à satisfaire aux exigences décrites du 5.13.2 au 5.13.6.

5.13.2 Caractéristiques de la ligne

Il convient de relever les caractéristiques de service des trolleybus et les exigences de fonctionnement dans les Normes Nationales.

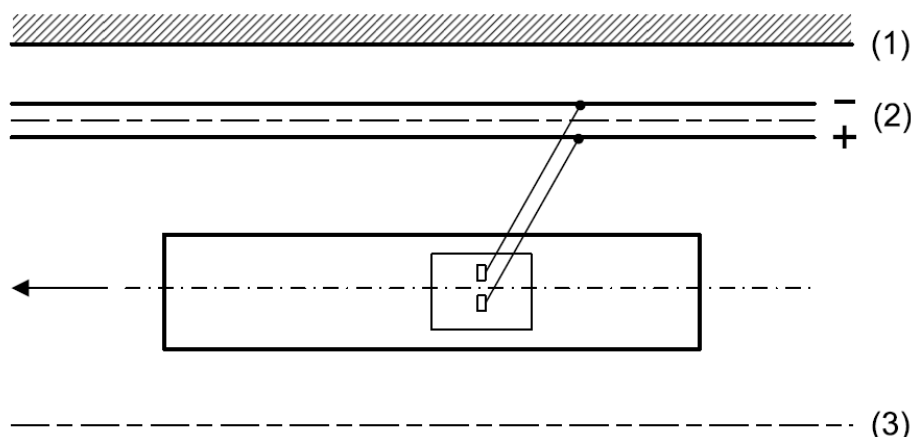
On doit également prendre en considération les conditions d'environnement et les zones urbaines dans lesquelles les lignes aériennes de contact seront installées, en faisant particulièrement attention aux exigences nationales en matière de distances d'isolement des structures.

Les caractéristiques du trolleybus et les exigences en matière d'exploitation comportent:

- les types de voies de circulation: les types de routes ou de tracé de voie (par exemple, rue, voie réservée, dénivelé, etc.) utilisés couramment pour chacun des différents modes,
- la vitesse moyenne: vitesse moyenne du point de départ au point d'arrivée pour chaque mode commercial. Cela comprend les temps passés aux arrêts, dans la circulation et causés par d'autres retards,
- la vitesse maximale: vitesse maximale qu'un véhicule est capable d'atteindre sur une voie en ligne droite, à niveau, sans courbe, sans pente, sans arrêt, sans signaux de circulation ou autres retenues,
- les dimensions des voies de circulation: largeur et hauteur des voies de circulation nécessaires pour que le véhicule s'adapte au mode dynamique conformément aux normes modernes de fonctionnement sécuritaire,
- les courbes minimales: courbes les plus serrées qui peuvent être utilisées dans un mode transport donné, mesurées comme le rayon de la courbe à la ligne centrale du véhicule,
- les pentes maximales: pentes les plus raides qui peuvent être empruntées pour un mode de transport donné sans compromettre la fiabilité ou la sécurité des opérations.

La distance entre les fils de contact d'alimentation et de retour doit être, soit de 0,60 m, soit de 0,70 m, avec une tolérance maximale de ± 15 mm.

Si un pôle du système à courant continu est à la terre ou est connecté au circuit de retour du système de tramway ou de métro léger, son fil de contact doit être installé à l'extérieur de l'emprise de la voie (voir Figure 2).



IEC 257/13

Légende

- 1 limite de la voie de circulation
- 2 ligne aérienne de contact: (-) fil de retour
(+) fil d'alimentation
- 3 axe de la voie

Figure 2 – Position du fil de retour par rapport à l'emprise de la voie

Les assemblages d'une ligne aérienne de contact (fils, suspension, sectionneurs et croisement) doivent être positionnés de façon à permettre:

- une circulation régulière du véhicule sur l'itinéraire,
- une approche correcte aux plates-formes d'arrêt,
- le dépassement d'un autre véhicule de la taille maximale autorisée pour les véhicules routiers.

5.13.3 Caractéristiques des véhicules

Les paramètres ci-après doivent être déterminés et incorporés dans l'étude du système:

- tension électrique nominale de la ligne aérienne de contact;
- type de trolleybus et caractéristiques de la route;
- pentes maximale et minimale de l'itinéraire;
- courants permanent et maximal du véhicule;
- type de traction (par résistance, par redresseur, par onduleur, etc.);
- type de freinage (par résistance, par récupération d'énergie, etc.);
- caractéristiques climatiques du véhicule;
- déplacement horizontal du trolleybus par rapport à la ligne aérienne de contact.

5.13.4 Système de captage du courant

Les informations suivantes doivent être prises en compte pour le système de captage du courant:

- type et dimension du dispositif de captage du courant;
- caractéristique de conception du dispositif de captage du courant et de tous les équipements qui constituent la ligne aérienne de contact, tels que les points de section et de croisement;
- force de contact statique entre le dispositif de captage du courant et le fil de contact;
- plage des forces de contact liées au mouvement dynamique du véhicule et variation de la hauteur de la ligne aérienne de contact;
- type de ligne de contact.

NOTE La CLC/TS 50502 fournit des informations concernant les exigences de sécurité et les systèmes de connexion des équipements électriques des trolleybus en Europe.

5.13.5 Forces de contact statiques

La plage des forces de contact statiques appliquées aux fils d'alimentation et de retour doit être comprise entre 70 N et 120 N pour chaque fil.

5.13.6 Trolleybus à proximité de tramways

Il est courant, spécialement en milieu urbain, que des trolleybus et des tramways circulent en utilisant les mêmes supports. Dans ce cas, les lignes aériennes de contact pour les deux systèmes sont supportées par la même suspension.

La distance entre les fils de contact des trolleybus et des tramways ne doit pas être inférieure à la distance entre les fils d'alimentation et de retour.

Dans tous les cas, les paramètres ci-après doivent être déterminés et incorporés dans l'étude du système:

- le gabarit de chargement statique et cinématique du trolleybus et du tramway;

- la distance entre le fil de retour et la ligne aérienne de contact des tramways est au moins égale à la distance entre les fils d'alimentation et de retour de la ligne aérienne de contact des trolleybus.

Les lignes aériennes de contact des trolleybus et des tramways sont généralement alimentées par des sections d'alimentation différentes afin de faciliter les opérations de maintenance.

5.14 Tolérances et limites

Les paramètres qui peuvent être influencés par la construction doivent être restreints à des tolérances et à des limites. Les tolérances et les limites dépendent du type de ligne de contact et doivent être définies d'après les exigences de sécurité, de qualité de captage du courant, de compatibilité avec les interfaces et d'aspects esthétiques. L'interdépendance entre les valeurs individuelles, la relation entre les tolérances et les limites ainsi que les effets externes comme le climat, la conception du pantographe et l'alimentation doivent être prises en compte.

Pour les paramètres susceptibles de changer pendant le fonctionnement, et de ce fait influencer la performance du système, par exemple le déplacement de la voie ferrée, des limites supplémentaires en fonctionnement doivent être définies. La relation entre les tolérances, les limites pour la construction et les limites pour le fonctionnement doivent tenir compte des changements possibles de paramètres dans le temps, entre les périodes d'inspection et de maintenance.

Les tolérances et les limites doivent être appliquées dès la conception (voir par exemple 6.4.5) et maintenues pendant la construction et le fonctionnement.

Le Tableau 12 montre des exemples de paramètres pour lesquels il convient de définir des tolérances et des limites. Les types de paramètres sont divisés en quatre groupes principaux selon leur ordre d'importance dans le système. Dans chaque groupe, des exemples de paramètres sont énoncés pour les tolérances et les limites pour la construction et/ou le fonctionnement. Les valeurs particulières doivent être définies par le concepteur du système.

Tableau 12 – Paramètres importants pour aider à la définition des tolérances et des limites

Type de paramètres	Tolérances	Limites	Définitions pour:	
			Construction	Fonctionnement
Type A, liés à la sécurité				
Dimensions des fondations, position des fondations perpendiculaires aux voies, angle de rotation des mâts, désaxement du fil de contact	X		X	
Distance d'isolement de sécurité, distances d'isolement électrique, hauteur (minimale/maximale) des fils de contact, déviation maximale du fil de contact due au vent, usure maximale du fil de contact		X	X	X
Type B, liés à la qualité du captage de courant				
Hauteur du système, distance entre les pendules, localisation des fondations le long de la voie	X		X	
Inclinaison des pendules le long de la voie, forces de contact maximale/minimale, variation de l'élasticité (u)		X	X	X
Pente du fil de contact, changement de pente, inclinaison des pendules perpendiculaires à la voie		X	X	
Type C, liés à la compatibilité				
Tolérances géométriques des interfaces de composants	X		X	
Type D, liés à l'esthétique				
Hauteur des mâts	X		X	
Inclinaisons des poteaux et des tubes de consoles horizontales		X	X	

Se reporter à l'Annexe E pour prendre connaissance des exigences définies dans les conditions nationales spéciales.

6 Structures

6.1 Bases de conception

6.1.1 Généralités

Les supports des lignes de contact aériennes peuvent être conçus selon les principes généraux des 6.1.2 à 6.1.6, ou en se référant aux normes internationales ou nationales, ou encore selon les principes décrits dans la EN 1990:2002 pour l'Europe.

6.1.2 Exigences fondamentales

Les supports des lignes aériennes de contact doivent être conçus et construits de telle façon que durant leur durée d'utilisation prévue:

- ils rempliront leur fonction dans certaines conditions définies avec des niveaux de fiabilité acceptables et de façon économique. Ceci concerne les exigences de fiabilité,
- ils ne seront pas sujets à un affaissement progressif si une défaillance survient dans un composant déterminé. Ceci concerne les exigences de sécurité,
- ils ne seront pas la cause de blessures ou de mort de personnes pendant la construction, le fonctionnement et la maintenance. Ceci concerne les exigences de sécurité.

Une ligne aérienne de contact doit également être conçue, construite et entretenue de telle façon que soient prises en compte la sécurité du public, la pérennité, la robustesse, la maintenabilité et les considérations environnementales.

Les exigences ci-dessus doivent être respectées par le choix de matériaux adaptés, par une conception et une liste de détails appropriées, et en spécifiant des procédures de contrôle pour la conception, la production, la construction et une utilisation appropriée au projet particulier.

6.1.3 Conception tenant compte des limites de structure

On fait généralement une distinction entre cas de limite définitive et limite d'aptitude à l'usage.

Les cas de limite définitive sont ceux associés à l'affaissement ou à tout autre type de défaillance de structure due à une déformation excessive, à la perte de stabilité, au renversement, à la rupture, au flambage, etc. Les cas de limites définitives concernent la fiabilité et la sécurité des supports, des fondations, des conducteurs et de l'équipement, de même que la sécurité des personnes.

Les cas de limite d'aptitude à l'usage correspondent à certaines conditions définies au-delà desquelles les exigences spécifiées de service pour une ligne aérienne de contact ne sont plus remplies. Les exigences d'aptitude à l'usage concernent le fonctionnement mécanique des supports, des fondations, des conducteurs et de l'équipement et la transmission sans restriction de l'énergie électrique aux véhicules.

Les limites d'aptitude à l'usage exigent donc de prendre en considération les déformations et les déplacements qui affectent le fonctionnement de la ligne aérienne de contact et toute détérioration qui affecte la pérennité ou la fonction des supports et de l'équipement.

Les limites d'aptitude à l'usage peuvent être spécifiées par l'utilisateur.

La conception tenant compte des cas de limites définitives et d'aptitude à l'usage doit être effectuée

- en établissant des modèles de structure et de charge respectant les limites de défaillance définitive et d'aptitude à l'usage devant être prises en compte dans les différentes conditions de conception et de cas de charge,
- en vérifiant les valeurs de conception qui sont généralement obtenues en utilisant les valeurs caractéristiques définies dans la présente Norme conjointement avec des facteurs partiels définis
 - dans la présente Norme,
 - dans l'ISO 10721 (toutes les parties) et l'ISO 23469:2005,
 - dans la EN 1992 (toutes les parties), la EN 1993 (toutes les parties), la EN 1995 (toutes les parties), la EN 1997 (toutes les parties) la EN 1998 (toutes les parties) et la EN 1999 (toutes les parties) pour l'Europe,
 - dans les spécifications du client,
- en vérifiant que les limites ne sont pas dépassées quand les valeurs de conception pour les actions, les propriétés des matériaux et les données géométriques sont utilisées dans le modèle,
- en se référant aux Eurocodes, à des normes alternatives ou à des données expérimentales pour les matériels non couverts par la présente Norme.

6.1.4 Classification des actions

Les actions peuvent être classées en fonction de leur variation dans le temps ou de leur nature et/ou de leur réponse structurelle:

NOTE On peut faire référence en Europe à la EN 1990:2002, 1.5.3.1. pour la définition du terme action.

- Les actions permanentes (G) sont le poids propre des supports comprenant les fondations, les pièces et équipements fixes, le poids propre des conducteurs et les effets des charges de traction des conducteurs à la température de référence sans givre et/ou sans vent. La valeur caractéristique des actions permanentes peut normalement être déterminée à une valeur G_K puisque la variabilité de G est faible.
- Les actions variables (Q) incluent les charges dues au vent, au givre et toutes autres charges imposées. Les charges dues au vent et au givre de même que les températures applicables sont des conditions climatiques qui peuvent être estimées par des méthodes probabilistes ou sur une base déterministe ou à partir des normes applicables comme la CEI 62498-2. Les effets de la force de traction du conducteur dus au vent et au givre ainsi que des écarts de température sont également des actions variables. Pour les actions variables, la valeur caractéristique Q_K correspond à une valeur nominale utilisée pour des actions déterministes ou une valeur supérieure d'une probabilité estimée à ne pas dépasser ou une valeur inférieure avec une probabilité estimée ne devant pas être inférieure pendant une période qui n'est pas plus longue que la référence.
- Les actions accidentelles (A) sont des défaillances de charges de confinement, etc. La valeur représentative est généralement une valeur caractéristique A_K , correspondant à une valeur spécifiée. Les actions dynamiques après le fonctionnement du dispositif anti-chute d'un tendeur automatique ou la rupture du fil de contact ou du porteur, peuvent être considérées en utilisant une action statique équivalente.
- Les charges de construction et de maintenance (Q_{PK}) tiennent compte des procédures de fonctionnement, des haubanages temporaires, des dispositifs de soulèvement, etc. Les valeurs caractéristiques Q_{PK} pour les charges de construction et de maintenance sont des valeurs déterministes stipulées pour garantir la sécurité des structures et des personnes.

6.1.5 Niveaux de fiabilité

En principe, les lignes aériennes de contact doivent être conçues en utilisant une durée de vie en service donnée à la conception et des exigences de fiabilité appropriées. Pour les structures civiles des lignes aériennes de contact, à l'exception des installations temporaires, il convient d'envisager une durée de vie en service à la conception de 50 ans. Les dispositions doivent être conformes à l'ISO 2394. Pour l'Europe, les règles d'application de conception sont définies dans la EN 1990.

6.1.6 Modèle pour l'analyse et la résistance structurelles

Les calculs doivent être réalisés en utilisant des modèles de conception appropriés incluant des variables adéquates. Les modèles doivent pouvoir prédire le comportement structurel, l'aptitude à l'usage et les limites de défaillance. Il convient de les fonder sur une théorie d'ingénierie et sur une pratique établie, vérifiées par l'expérience si nécessaire.

En ce qui concerne l'interaction entre les fondations et le sol, il convient de porter une attention particulière aux charges provenant des supports, aux charges provoquées par la pression active sur le sol, au poids permanent des fondations, ainsi qu'aux effets de poussée des eaux souterraines sur le sol et les fondations. Lors du calcul des fondations, on doit tenir compte de ces effets, de même que des forces de réaction des strates du terrain. En outre, il convient de définir et de tenir compte des critères pour un tassement acceptable des fondations, pour des déformations imposées aux supports et aux lignes de contact et pour l'inclinaison des supports.

6.1.7 Valeurs de conception et méthodes de vérification

Dans la présente norme, la fiabilité est réalisée par l'application de facteurs partiels et de périodes de retour appropriées pour des actions climatiques basées sur une approche statistique et de facteurs partiels pour les actions déterministes et les propriétés des matériaux. La méthode de facteur partiel vérifie que les effets des actions de conception ne dépassent pas la résistance théorique à la limite de défaillance et qu'elles sont conformes aux exigences de performance concernant la limite d'aptitude à l'usage.

La valeur de conception d'une action F_d est exprimée en termes généraux comme:

$$F_d = \gamma_F \times F_K \quad (7)$$

où

γ_F est le facteur partiel pour les actions;

F_K est la valeur caractéristique d'une action.

En général, le facteur partiel pour les actions γ_F tient compte de la possibilité de déviations défavorables des actions, de modèles erronés et d'incertitudes dans l'évaluation des effets des actions. Pour les calculs déterministes comprenant les charges accidentelles, le facteur partiel peut être appliqué à l'effet des valeurs caractéristiques de l'action, par exemple à la force de traction du conducteur y compris les effets du vent, de la température et du givre.

La valeur théorique de la propriété d'un matériau X_d est généralement définie comme:

$$X_d = \frac{X_K}{\gamma_M} \quad (8)$$

Le facteur partiel pour la propriété du matériau γ_M couvre les déviations défavorables à partir de la valeur caractéristique de la propriété du matériau X_K , les erreurs dans les facteurs de conversion appliqués et les incertitudes dans les propriétés géométriques et le modèle de résistance.

Dans la conception de chaque composant ou de sa connexion, on doit vérifier que

$$E_d \leq R_d, \quad (9)$$

où

E_d est la valeur théorique totale des effets de l'action tels que les forces internes ou les moments ou leur combinaison.

E_d est une fonction des actions dans une certaine situation théorique:

$$E_d = f(\gamma_G G_K; \gamma_W Q_{WK}; \gamma_I Q_{IK}; \gamma_P Q_{PK}; \gamma_C Q_{CK}; \gamma_A A_K) \quad (10)$$

où

G_K est le poids propre des supports, des conducteurs, des pièces et des forces de traction des conducteurs en fonction du poids propre en tenant compte de la température de référence;

Q_{WK} est la charge caractéristique de vent;

Q_{IK} est la charge caractéristique de givre;

Q_{PK} est la charge de construction et de maintenance;

Q_{CK} sont les forces de traction du conducteur dépendant des températures et des charges climatiques liées;

A_K sont les actions induites par des charges accidentelles et des actions spéciales;

$\gamma_G, \gamma_W, \gamma_I, \gamma_P, \gamma_C, \gamma_A$ sont les facteurs partiels associés.

R_d est la résistance structurelle théorique correspondante qui associe toutes les propriétés structurelles aux valeurs théoriques respectives X_{nd} selon:

$$R_d = f\{X_{1d}; X_{2d} \dots\} \quad (11)$$

Pour plus de détails se référer à la EN 50341-1 en Europe. Les calculs du présent paragraphe ne sont pas exigés pour les réseaux de transport public urbain.

6.2 Actions sur les lignes aériennes de contact

6.2.1 Généralités

Les valeurs caractéristiques pour les actions sur les lignes concernant les données climatiques peuvent être déduites d'approches déterministes ou probabilistes basées sur de longues périodes d'expérience réussie. Les données climatiques peuvent être extraites des normes adéquates telles que la CEI 62498-2, l'ISO 4354 ou la EN 1991-1-4 en Europe et peuvent être spécifiées par l'utilisateur. La totalité des actions constitue un système de conception complet qui tient compte en particulier des cas de charge établis.

Les actions sur les lignes aériennes de contact sont à considérer comme des actions quasi-statiques n'exigeant pas de vérifier la résistance à la fatigue.

En cas de vibration importante d'une structure, par exemple un pont lors d'un tremblement de terre, il convient de tenir compte des effets de ces vibrations sur la ligne aérienne de contact.

Les actions dynamiques dues à l'interaction pantographe/ligne de contact et provoquées par la circulation des trains sont faibles et ne nécessitent pas d'être prises en considération. En outre sur demande, il convient de prendre en considération l'action aérodynamique des trains en circulation. Il convient que l'action aérodynamique à l'intérieur des tunnels ferroviaires soit prise en compte conformément à la CEI 62498-2. Il convient que le client spécifie toute exigence détaillée.

Pendant la construction, il convient de considérer les charges induites par les passages de roues sur les voies lorsqu'il le faut, par exemple lors de l'excavation des fondations.

NOTE La EN 1991-2 donne les exigences générales en Europe.

6.2.2 Charges permanentes

Le poids propre des supports et de leurs équipements comme les consoles, les équipements tendeurs, les isolateurs et les transversaux agissent comme des charges permanentes. Les forces de traction des fils auto-tendus et les charges de déaxement peuvent être considérées comme des charges permanentes. La valeur caractéristique est G_K .

6.2.3 Charges variables

La variation de tension des extrémités fixes doit être déterminée selon chaque cas de charge individuelle tel que:

- le conducteur sous l'action d'une charge de givre,
- le conducteur à la température théorique ainsi qu'à la température minimale,
- le conducteur sous l'action d'une charge de vent maximale,
- le conducteur sous l'action combinée d'une charge de vent et de givre.

La valeur caractéristique est Q_{CK} et pour les autres composants Q_{WK} , Q_{IK} , Q_{PK} .

6.2.4 Charges dues au vent

6.2.4.1 Généralités

La conception des lignes aériennes de contact par rapport aux charges dues au vent doit être basée sur la vitesse du vent selon la météorologie, mesurée 10 m au-dessus du sol pendant une période moyenne de 10 min sur un terrain relativement découvert désigné comme terrain de catégorie II dans l'ISO 4354, dans les normes nationales ou dans la EN 1991-1-4 en Europe. Pour la conception structurelle des supports, on doit utiliser une vitesse du vent ayant une période de retour de 50 ans alors que pour la vérification de l'aptitude à l'usage, la période de retour de la vitesse de vent doit être spécifiée par le client. Les vitesses du vent ont été enregistrées par les services météorologiques sur de nombreuses années. Dans la plupart des pays, les informations statistiques sur le vent sont disponibles par région. Les valeurs des vitesses de vent sur 50 ans sont données dans la CEI 62498-2, dans les normes nationales ou doivent être spécifiées par le client.

Si le site concerné est situé sur des viaducs ou des ponts élevés, les vitesses du vent correspondant à la hauteur correspondante au-dessus du sol doivent être utilisées pour l'analyse.

Les méthodes courantes décrites par exemple dans l'ISO 4354, dans les normes nationales ou la EN 1991-1-4 en Europe ou bien conformes à celles décrites du 6.2.4.2 au 6.2.4.7, peuvent être utilisées pour déterminer les charges dues au vent sur les lignes aériennes de contact.

6.2.4.2 Pression dynamique du vent

La pression dynamique du vent q_K , mesurée en Newton par mètre carré (N/m^2), agissant sur les éléments des lignes aériennes de contact, doit être déterminée par:

$$q_K = \frac{1}{2} G_q \times G_t \times \rho V_R^2 \quad (12)$$

où

G_q est le facteur de réaction aux rafales défini dans la EN 50341-1:2001 en Europe ou dans les normes nationales. Pour les lignes aériennes de contact hautes d'environ 10 m, il convient que G_q soit égal à 2,05;

G_t est le facteur de terrain tenant compte de la protection des lignes, par exemple dans les déblais, les villes ou les forêts. En terrain découvert, G_t doit être égal à 1,0; les facteurs

G_t d'autres sites ou des sites protégés peuvent être définis dans les normes nationales ou spécifiés par le client;

V_R est la vitesse de vent de référence exprimée en mètres par seconde (m/s) à une hauteur de 10 m au-dessus du sol, moyennée sur 10 min et ayant une période de retour conformément au 6.2.4.1;

ρ est la densité de l'air égale à 1,225 kg/m³ à 15 °C et 600 m d'altitude. Pour d'autres valeurs de température et d'altitude, la densité de l'air à considérer peut être calculée par l'équation (13):

$$\rho = 1,225 \times \left(\frac{288}{T} \right) \cdot e^{-1,2 \cdot 10^{-4} \cdot H} \quad (13)$$

où

T est la température absolue exprimée en Kelvin (K);

H est l'altitude exprimée en mètres (m).

Pour les éléments de ligne situés à plus de 10 m du niveau du sol de référence, la vitesse du vent augmente selon une loi logarithmique ou de puissance appropriée.

Dans de nombreux pays, les pressions dynamiques de vent q_K sont stipulées. Elles tiennent compte du facteur de réaction aux rafales et des conditions de vent données. Il est possible d'utiliser ces données additionnelles pour la conception des lignes de contact.

La pression dynamique du vent sur différentes périodes peut être déduite de la pression dynamique du vent sur 50 ans en utilisant les procédures données dans les normes nationales comme la EN 50341-1:2001 en Europe.

6.2.4.3 Forces du vent sur les conducteurs

La pression du vent sur les conducteurs produit des forces transversales à la direction de la ligne. A partir de deux portées adjacentes, la force du vent sur un support doit être déterminée par:

$$Q_{WC} = q_K \times G_C \times d \times C_C \times \frac{L_1 + L_2}{2} \times \cos^2 \Phi \quad (14)$$

où

q_K est la pression dynamique caractéristique du vent (voir 6.2.4.2);

G_C est le facteur de réponse structurelle pour les conducteurs qui prend en compte la réponse des conducteurs mobiles à la charge du vent. Il convient de définir le facteur G_C selon l'expérience nationale. Une valeur largement acceptée serait $G_C = 0,75$;

d est le diamètre du conducteur;

C_C est le coefficient de traînée du conducteur. Une valeur de 1,0 est recommandée; le client peut spécifier d'autres valeurs;

L_1, L_2 sont les longueurs des deux portées adjacentes;

Φ est l'angle d'incidence de la direction critique du vent par rapport à la normale au conducteur. On admet généralement que Φ est égal à zéro.

Là où des conducteurs jumelés fonctionnent en parallèle, une réduction de la charge du vent peut être appliquée sur le conducteur placé sous le vent, comme étant 80 % de celle du conducteur placé au vent, si leur entre-axe est inférieur à cinq fois le diamètre.

6.2.4.4 Forces du vent sur les isolateurs et autres accessoires de ligne

La force du vent sur un isolateur agit au point d'attache du support dans la direction du vent et doit être déterminée par:

$$Q_{W\text{ins}} = q_K \times G_{\text{ins}} \times C_{\text{ins}} \times A_{\text{ins}} \quad (15)$$

où

q_K est la pression caractéristique du vent (voir 6.2.4.2);

G_{ins} est le facteur de résonance structural pour les ensembles d'isolateurs. Une valeur de 1,05 est recommandée; le client peut spécifier d'autres valeurs;

C_{ins} est le coefficient de traînée des isolateurs. Une valeur de 1,2 est recommandée; le client peut spécifier d'autres valeurs;

A_{ins} est la surface de l'isolateur projetée horizontalement sur un plan vertical perpendiculaire à l'axe de l'action du vent.

La force du vent sur les autres composants doit être calculée à partir de la formule (15) en tenant compte des coefficients de traînée appropriés. Le plus souvent les charges de vent sur les isolateurs ou sur les pièces de ligne sont proportionnellement faibles par rapport à celles provenant d'autres sources.

6.2.4.5 Forces du vent sur les transversaux et les consoles

Les forces du vent agissant sur les poutres transversales, les portiques souples et les transversaux ainsi que sur les consoles doivent être déterminées en additionnant les actions du vent sur les éléments individuels. Les actions du vent sur les éléments individuels peuvent être déterminées par les relations spécifiées au 6.2.4.3 pour les conducteurs, au 6.2.4.4 pour les isolateurs et au 6.2.4.7 pour les structures.

6.2.4.6 Forces du vent sur les structures maillées

Pour les structures maillées de sections rectangulaires les forces du vent doivent être calculées à partir de:

$$Q_{Wt} = q_K \times G_{\text{lat}} (1 + 0,2 \sin^2 2\phi) (C_{\text{lat1}} \times A_{\text{lat1}} \cos^2 \phi + C_{\text{lat2}} \times A_{\text{lat2}} \sin^2 \phi) \quad (16)$$

où

q_K est la pression dynamique du vent (voir 6.2.4.2);

G_{lat} est le facteur de résonance structurale. Pour les structures maillées, il convient qu'il soit égal à 1,05;

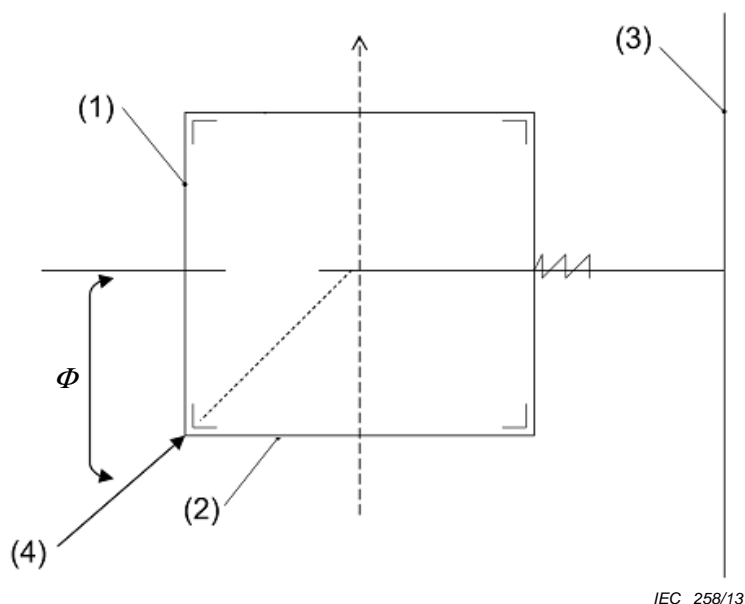
C_{lat1} est le coefficient de traînée de la face 1 de la structure maillée dans un vent perpendiculaire à cette face;

C_{lat2} est le coefficient de traînée de la face 2 de la structure maillée dans un vent perpendiculaire à cette face;

A_{lat1} est la surface effective des éléments de la face 1 de la structure maillée;

A_{lat2} est la surface effective des éléments de la face 2 de la structure maillée;

ϕ est l'angle entre la direction du vent et la perpendiculaire à la face 1 de la structure (voir Figure 3).



Légende

- (1) face 1
- (2) face 2
- (3) ligne aérienne de contact
- (4) direction du vent

Figure 3 – Action du vent sur les structures maillées en acier

En alternative, la force du vent peut être calculée conformément aux Eurocodes ou aux spécifications du client.

Les coefficients de traînée C_{lat} dépendent du rapport de solidité tel que décrit dans l'ISO 4354 et la EN 1991-1-4:2005, 7.11 pour l'Europe. Une valeur appropriée est $C_{lat} = 2,8$ pour les structures maillées de section carrée ou rectangulaire faite de sections angulaires.

6.2.4.7 Forces du vent sur les autres structures

Les forces du vent sur les autres structures sont égales à:

$$Q_{W\ str} = q_K \times G_{str} \times C_{str} \times A_{str} \tag{17}$$

où

q_K est la pression dynamique du vent (voir 6.2.4.2);

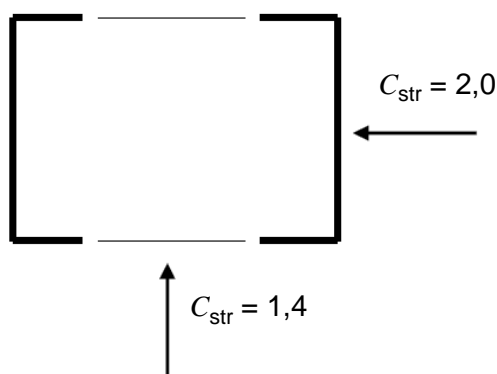
G_{str} est le facteur de résonance structurelle de la structure. Pour les structures autoportantes en acier ou en béton habituellement utilisées pour les lignes aériennes de contact, G_{str} doit être égal à 1,0. D'autres valeurs peuvent être utilisées si elles sont déterminées à partir de normes ou de méthodes approuvées;

C_{str} est le coefficient de traînée dépendant de la forme et de la rugosité superficielle de la structure. Le Tableau 13 donne les valeurs recommandées; le client peut spécifier d'autres valeurs;

A_{str} est la surface projetée de la structure.

Tableau 13 – Valeurs recommandées du facteur C_{str} pour divers types de structure

Type de structure	C_{str}
Structures tubulaires en acier et en béton de section circulaire	0,7
Structures tubulaires en acier de section dodécagonale	0,85
Structures tubulaires en acier et en béton de section hexagonale ou octogonale	1,0
Structures tubulaires en acier et en béton de section carrée ou rectangulaire	1,4
Doubles longerons de section carrée ou rectangulaire	Voir Figure 4
Profils en H	1,4

**Figure 4 – Définition des coefficients de traînée des doubles longerons**

6.2.5 Charges de givre

Les charges de givre sont créées par l'accrétion de glace due à la gelée blanche, aux pluies verglaçantes ou de neige collante sur les conducteurs des lignes aériennes de contact. Les charges caractéristiques de givre g_{IK} dépendent du climat et des conditions locales, c'est-à-dire de la hauteur au-dessus du sol, de la proximité de lacs et de l'exposition au vent. Les valeurs des charges de givre sont données dans la CEI 62498-2. Il convient que le client spécifie les charges de givre.

Si le client le spécifie, le givrage des structures doit être pris en compte.

6.2.6 Charges combinées du vent et du givre

Lorsque les actions combinées des charges de vent et de givre sont prises en compte pour la conception des installations et des structures des lignes aériennes de contact, on peut admettre que 50 % des charges du vent selon le 6.2.4 agissent sur les structures et équipements sans givre et sur les conducteurs givrés. Les charges de givre doivent être utilisées selon 6.2.5 en prenant en compte D_I comme suit. D'autres valeurs peuvent être spécifiées par le client. Il s'agit d'une méthode simplifiée des cas communs tenant compte des actions variables indépendantes au moyen de facteurs combinés supplémentaires. La densité ρ_I de la glace peut être obtenue dans les normes appropriées et le coefficient de traînée aérodynamique est de 1,0.

Si le client le spécifie, il convient de prendre en considération une augmentation du diamètre de l'accrétion de glace. Le diamètre équivalent D_I en mètre d'accrétion de glace doit être calculé à partir de:

$$D_1 = \sqrt{d^2 + \frac{4 \times g_{IK}}{\pi \times \rho_1}} \quad (18)$$

où

d est le diamètre du conducteur sans glace, mesuré en mètres;

g_{IK} est la charge de givre caractéristique, mesurée en Newton par mètre (N/m).

6.2.7 Effets de la température

Les effets de la température doivent être pris en compte conjointement avec les autres actions climatiques. Il convient que le client spécifie les effets suivants, sur la base de la CEI 62498-2:

- la température minimale à prendre en compte sans autre action climatique;
- la température ambiante de référence pour les conditions extrêmes de charge de vent;
- la température présumée avec des charges de givre et des charges combinées de vent et de givre lorsque c'est approprié;
- la température de référence pour le calcul des forces de traction comme une action permanente.

Beaucoup de pays européens utilisent les températures suivantes: température minimale – 20 °C; température ambiante de référence + 5 °C; température avec charges de givre (et charges combinées de vent et de givre lorsque c'est approprié) –5 °C, température de référence pour le calcul de la force de traction comme action constante + 15 °C. On peut utiliser les températures lorsqu'on considère la charge de traction des conducteurs.

6.2.8 Charges de construction et de maintenance

Les charges dues aux activités de construction et d'entretien doivent être considérées et tenir compte des procédures de travail, du haubanage temporaire, des dispositifs de levage, etc. On doit supposer que les valeurs recommandées pour des charges agissant verticalement sont d'au moins 1,0 kN pour les traverses horizontales des portiques et d'au moins 2,0 kN pour les autres types de structures. Ces forces doivent agir séparément aux nœuds les plus défavorables des traverses ou aux points d'attaches des supports ou des conducteurs à la structure.

Les éléments structuraux n'ont pas besoin d'être conçus pour de telles charges si des pratiques de travail appropriées sont adoptées. Il convient que le client spécifie les détails.

6.2.9 Charges accidentelles

Les charges accidentelles sont spécifiées pour prendre en charge les défaillances de charge de confinement et les situations d'urgence. Généralement, au point d'attache à la structure de tout conducteur, la charge statique résiduelle appropriée provenant du relâchement de la tension du fil de contact, du porteur ou de la ligne d'alimentation doit être appliquée. Il est généralement suffisant de considérer les charges accidentelles pour des structures à l'extrémité des cantons de pose ou pour des structures d'ancrage au point d'anti-cheminement. Il convient que le client spécifie les détails et définisse en même temps les cas de charges associées.

6.2.10 Actions spéciales

Il convient de prendre en compte les actions spéciales, telles que les effets des forces imposées au système des lignes aériennes de contact après qu'un court-circuit important se soit produit.

Les exigences pour les actions spéciales peuvent être indiquées dans les règlements nationaux.

Quand des lignes aériennes de contact sont construites dans des régions sujettes aux secousses sismiques, il est possible de prendre en considération les forces provenant des tremblements de terre et/ou des secousses sismiques sur les installations.

NOTE Des informations sont données dans l'ISO 3010, respectivement dans la EN 1998 et la EN 50341-1:2001, Annexe C pour l'Europe.

6.3 Types de structures et cas de charge liés

6.3.1 Cas de charge et combinaisons de charge

6.3.1.1 Exigences générales

Pour la conception des conducteurs, de l'équipement et des supports y compris des fondations, et afin d'en déterminer les limites extrêmes, on doit tenir compte des cas de charge produisant l'effet de charge maximal sur chaque élément pris individuellement.

Les forces de traction du conducteur doivent être déterminées selon les charges agissant sur les conducteurs dans un cas de charge défini. Les composants des forces de traction du conducteur aux points d'attache du support, y compris l'effet des angles verticaux et horizontaux, doivent être pris en compte de manière adéquate. Les charges sur les supports doivent être choisies en tenant compte de la fonction définie du support dans le système de la ligne aérienne de contact. Quand le support assure plusieurs fonctions, par exemple une structure de tension comportant également des consoles, la combinaison la plus défavorable des charges doit s'appliquer.

Le client peut si nécessaire spécifier des exigences supplémentaires. Les conditions de charge à court terme survenant pendant les activités d'installation et de reconstruction doivent être prises en compte séparément.

Les cas de charge standard sont définis de 6.3.1.2 à 6.3.1.7. Les applications de ces cas de charge sont données dans le Tableau 14 et en 6.3.2.

Il existe une relation entre les conditions atmosphériques telles que la température et la vitesse du vent.

6.3.1.2 Cas de charge A: charges à la température minimale

Les charges permanentes, les forces de traction du conducteur à la température minimale et à la température ambiante théorique doivent être prises en compte.

Il convient de prendre en considération les conditions de températures décrites au 6.2.7.

6.3.1.3 Cas de charge B: charges maximales dues au vent

Charges permanentes, forces de traction du conducteur augmentées de l'action du vent et des charges dues au vent sur chaque élément selon le 6.2.4 de la présente norme, agissant dans la direction la plus défavorable. Il convient que la température ambiante dans ces conditions soit celle spécifiée au 6.2.7.

6.3.1.4 Cas de charge C: charges de givre

Charges permanentes, forces de traction du conducteur augmentées des charges de givre selon le 6.2.5 et, le cas échéant, les charges de givre sur les structures.

6.3.1.5 Cas de charge D: actions combinées des charges de vent et des charges de givre

Charges permanentes, forces de traction du conducteur augmentées de l'effet combiné des charges de givre et de vent selon le 6.2.6 de la présente norme, et les charges de givre et de vent agissant sur les structures. La charge de vent agit dans la direction la plus défavorable.

6.3.1.6 Cas de charge E: charges de construction et de maintenance

Charges permanentes, augmentées des charges de construction et de maintenance selon le 6.2.8 de cette norme ainsi que d'une charge de vent et d'une charge de givre réduites lorsqu'elles sont spécifiées.

6.3.1.7 Cas de charge F: charges accidentelles

Charges permanentes conjuguées avec la réduction non intentionnelle d'une ou de plusieurs forces du conducteur.

6.3.2 Type de structures et application des cas de charge

6.3.2.1 Consoles

Les consoles portent l'équipement de la ligne aérienne de contact d'une ou de plusieurs voies. Elles peuvent être fixées aux supports par des articulations qui permettent aux consoles de tourner autour d'un axe vertical, et de ce fait n'opposent aucune résistance aux charges longitudinales venant de la ligne aérienne de contact. Au contraire, les consoles fixées aux structures de façon rigide produisent une résistance opposée aux forces longitudinales créées par les lignes aériennes de contact.

Les cas de charges à prendre en compte sont:

- A, B, C et si nécessaire D pour les consoles articulées,
- A, B, C, si nécessaire D, et si nécessaire E et F pour les consoles fixes.

6.3.2.2 Structures transversales

Les structures transversales portent l'équipement de ligne de contact aérienne au moyen de câbles et d'isolateurs soumis uniquement à des charges de traction.

Les cas de charge applicables sont A, B, C, si nécessaire D, et si nécessaire E et F. Le cas de charge F est applicable uniquement pour les structures transversales avec un point médian.

6.3.2.3 Structures transversales rigides (traverses, portiques)

Les structures transversales rigides sont constituées de poutres résistant à la flexion, fixées sur les structures, soit par des articulations, soit par des attaches résistant à la flexion.

Les cas de charge applicables sont A, B, C, si nécessaire D, et si nécessaire E et F.

6.3.2.4 Structures de suspension

Une structure de suspension porte une ou plusieurs consoles destinées à supporter la ligne aérienne de contact.

Les cas de charge applicables sont A, B, C, si nécessaire D, et si nécessaire E.

6.3.2.5 Structures de rappel de courbe

Les structures de rappel de courbe portent des forces radiales provenant d'une ou de plusieurs lignes aériennes de contact et parfois des charges verticales (par exemple dans le cas de dévers et/ou de rampes).

Les cas de charge applicables sont A, B, C, si nécessaire D, et si nécessaire E.

6.3.2.6 Structures pour ancrage des points médians

Une structure pour ancrage des points médians est conçue pour résister aux forces de l'ancrage du point médian en plus de ses autres fonctions telles que le maintien des consoles.

Les cas de charge applicables sont A, B, C, si nécessaire D, et si nécessaire E et F.

6.3.2.7 Structures pour points médians

Une structure pour points médians est conçue pour résister aux forces radiales provenant de l'ancrage médian en plus de ses autres fonctions telles que le support des consoles.

Les cas de charge applicables sont A, B, C, si nécessaire D, et si nécessaire E.

6.3.2.8 Structures pour les structures transversales flexibles et rigides

Structures conçues pour résister aux forces provenant de n'importe quelle structure transversale telles que les portiques, les traverses et les transversaux.

Les cas de charge applicables sont A, B, C, si nécessaire D, et si nécessaire E. On doit envisager le cas de charge F si un point médian y est installé.

6.3.2.9 Structures pour porteurs horizontaux

Sur les structures pour des porteurs horizontaux, les forces agissent simultanément dans plusieurs directions et à différentes hauteurs.

Les cas de charge applicables sont A, B, C, si nécessaire D et F.

NOTE Un câble porteur longitudinal horizontal est une disposition où les fils de contact sont soutenus par des fils qui sont principalement dans une position horizontale. Cette disposition est principalement utilisée en zones urbaines. Les poteaux ou les bâtiments sur lesquels les fils horizontaux sont fixés peuvent être relativement éloignés des voies.

6.3.2.10 Structures de tensionnement mécanique

Une structure de tensionnement mécanique porte l'extrémité de l'équipement de la ligne aérienne de contact et des autres conducteurs auto-tendus ou fixés de manière rigide, prend en charge d'autres fonctions telles que supporter des consoles ou des éléments transversaux.

Les cas de charge applicables sont A, B, C, si nécessaire D, et si nécessaire E.

Le cas de charge F est applicable si les extrémités des lignes de contact sont ancrées dans deux directions opposées afin de tenir le compte de la réduction involontaire des charges de traction.

6.3.2.11 Structures avec lignes parallèles de renforcement et câble d'alimentation

Ces structures portent les charges des câbles d'alimentations et des lignes parallèles de renforcement et occupent d'autres fonctions dans l'installation de la ligne aérienne de contact.

Si nécessaire, il convient de faire une distinction entre les structures équipées de chaînes de suspension ou d'ancrage.

Les cas de charge applicables sont A, B, C, si nécessaire D, et si nécessaire E et F.

6.3.2.12 Structure de ligne aérienne de contact portant des lignes aériennes d'alimentation supplémentaires

Les structures avec des lignes aériennes supplémentaires portent les charges des lignes aériennes et occupent d'autres fonctions dans l'installation de la ligne aérienne de contact.

Les cas de charge applicables sont A, B, C, si nécessaire D et si nécessaire E et F pour les actions résultant de la ligne aérienne de contact. De plus, les cas de charge selon la EN 50341-1 en Europe doivent être considérés en ce qui concerne la fonction du support à l'intérieur du système de ligne aérienne de contact.

6.3.2.13 Supports d'ancrage

Les supports d'ancrage sont des éléments structurels pour résister aux forces de traction des haubans supportant les structures des lignes de contact.

Les cas de charge doivent être choisis selon le type de la structure ancrée.

6.3.2.14 Fondations des supports

Les fondations doivent être étudiées conformément au 6.5. Les cas de charge pertinents sont A, B, C, si nécessaire D, et si nécessaire E et F.

Tableau 14 – Résumé des cas de charge à prendre en compte pour chaque type de structures

Type de structure		Cas de charge à prendre en compte					
		A Température minimale ^f	B Vent ^g	C Givre ^{e, h}	D Vent et givre ^{e, h}	E Construction et maintenance ^{e, h}	F Accidentel ^g
1a	Consoles articulées	X	X	X	X	X	-
1b	Consoles fixes	X	X	X	X	X	X
2	Structures transversales	X	X	X	X	X	X ^a
3	Portiques/ Traverses	X	X	X	X	X	X
4	Structures de suspension	X	X	X	X	X	-
5	Structures de rappel	X	X	X	X	X	-
6	Structures pour ancrage des points médians	X	X	X	X	X	X
7	Structures pour points médians	X	X	X	X	X	-
8	Structures pour les structures transversales flexibles et rigides	X	X	X	X	X	X ^a
9	Structures pour porteurs horizontaux	X	X	X	X	-	X
10	Structures de tensionnement mécanique	X	X	X	X	X	X ^c
11	Structures avec lignes parallèles de renforcement et câble d'alimentation	X	X	X	X	X	X ^e
12	Structures de ligne aérienne de contact portant des lignes aériennes d'alimentation supplémentaires ^b	X	X	X	X	X	X
13	Supports d'ancrage	X ^d	X ^d	X ^d	X ^d	X ^d	X ^d
14	Fondations des supports	X	X	X	X	X	X
Ces informations sont fournies à titre de guide. Pour certaines structures, des combinaisons supplémentaires de charges seront nécessaires.							
<p>^a Dans le cas d'un point médian.</p> <p>^b Voir aussi la EN 50341-1 en Europe.</p> <p>^c Si les lignes de contact sont terminées dans deux directions opposées.</p> <p>^d Selon le type d'ancrage.</p> <p>^e Si cela est nécessaire.</p> <p>^f Température minimale à considérer sans aucune autre action climatique. Voir 6.2.7.</p> <p>^g Température normale ambiante présumée avec charge de vent extrême. Voir 6.2.7.</p> <p>^h Température présumée avec charges de givre et charge de vent et de givre combinée, cas le plus approprié. Voir 6.2.7.</p>							

6.3.3 Facteurs partiels pour les actions

6.3.3.1 Généralités

Selon l'ISO 10721 (toutes les parties) et la EN 1993 (toutes les parties) en Europe pour les structures en acier et la EN 1992 (toutes les parties) en Europe pour les structures en béton, l'utilisation de facteurs partiels est une pratique courante. Ils sont divisés en facteurs partiels

pour les actions et facteurs partiels pour les matériaux. Les facteurs partiels appropriés pour les actions et pour les matériaux sont spécifiés dans la présente norme. Pour les conditions qui ne sont pas couvertes ici, les facteurs partiels peuvent être tirés de l'ISO 2394 et de la EN 1990 dans Normes Européennes traitant de la conception structurelle ou peuvent être spécifiés par le client. Les facteurs partiels applicables sont récapitulés dans le Tableau 15 ou peuvent être définis dans les règlements nationaux.

6.3.3.2 Actions permanentes

Le facteur partiel pour les actions permanentes de poids propre est γ_G , et γ_{CG} pour les actions permanentes des forces de traction du conducteur. La valeur recommandée est égale à 1,3. D'autres valeurs peuvent être spécifiées par le client. Là où le poids propre de chaque élément agit favorablement, par exemple en réduisant la charge, le facteur partiel γ_G est supposé être égal à 1,0.

6.3.3.3 Actions variables, charges de vent et de givre

Il est recommandé que les facteurs partiels γ_W pour les charges de vent, γ_I pour les charges de givre et γ_{CV} pour les forces de traction des conducteurs soumis aux charges de vent ou de givre soient égaux à 1,3. D'autres valeurs peuvent être spécifiées par le client.

6.3.3.4 Charges accidentelles

Pour ce qui est des cas de charges accidentelles, les facteurs partiels γ_G pour les charges permanentes, γ_C pour les forces de tension du conducteur et γ_A pour les charges accidentelles peut être estimé à 1,0.

Les charges dynamiques dues à la rupture du fil peuvent être considérées par des charges statiques équivalentes.

6.3.3.5 Charge de construction et de maintenance

Le facteur partiel pour les charges de construction et de maintenance γ_P doit être 1,5. Il doit être combiné avec la valeur de 1,3 des facteurs partiels γ_G et γ_{CG} pour les actions permanentes.

Tableau 15 – Résumé des facteurs partiels pour les actions

Type de charge	Cas de charge					
	A	B	C	D	E	F
Permanent γ_G γ_{CG}	1,3 ^b	1,3 ^b	1,3 ^b	1,3 ^b	1,3 ^b	1,0 ^b
Favorable permanente γ_G γ_{CG}	1,0 / 0 ^a	1,0 / 0 ^a	1,0 / 0 ^a	1,0 / 0 ^a	1,0 / 0 ^a	1,0 / 0 ^a
Vent γ_W , γ_{CV}	-	1,3 ^b	-	1,3 ^b	-	1,0 ^b
Givre γ_I , γ_{CV}	-	-	1,3 ^b	1,3 ^b	-	-
Accidentelle γ_A	-	-	-	-	-	1,0
Construction γ_P	-	-	-	-	1,5	-
^a Equipement retiré.						
^b Valeur recommandée.						

6.4 Conception des supports et des structures transversales

6.4.1 Analyses des forces et des moments internes

Les forces et les moments internes à l'intérieur des supports des transversaux et des structures décrites au 6.3.2 doivent être déterminés en utilisant les principes de la statique des structures fixes et flexibles, qu'ils soient statistiquement isostatiques ou statistiquement hyperstatiques, ou ceux des systèmes à câbles souples. On peut trouver des exigences supplémentaires dans

- l'ISO 10721 (toutes les parties) et la EN 1993 (toutes les parties) et la EN 1090-1 (en Europe) pour les structures en acier,
- la EN 12510 (en Europe) pour les structures en bois,
- la EN 12843 (en Europe) pour les poteaux en béton,
- la EN 1992 (toutes les parties) (en Europe) pour les structures en béton,
- l'ISO/TR 11069 et la EN 1999 (toutes les parties) (en Europe),
- la EN 50341-1 (en Europe),
- les publications reconnues d'analyse structurelle.

6.4.2 Analyse de la résistance

Les éléments des supports de transversales des installations des lignes de contact sont chargés en compression, en tension, en flexion ou en torsion. Le calcul de la résistance des éléments doit prendre en compte le type de charge et, sur demande, le flambage, la stabilité, ainsi que l'analyse des connexions.

Concernant l'analyse de la résistance des structures métalliques, il doit être fait référence à la EN 50341-1 (en Europe) et à :

- L'ISO 10721 (toutes les parties), l'ISO 630 (toutes les parties) et la EN 1993-1-1 (en Europe) pour les structures en acier,
- la EN 12510 (en Europe) pour les structures en bois,
- en Europe, la EN 1992-1-1 et la EN 12843 pour les structures en béton armé.

La résistance des câbles massifs, des conducteurs toronnés métalliques soumis à des forces de traction suit les normes appropriées, par exemple la EN 50149 ou la EN 50182 en Europe. La résistance théorique doit être obtenue en divisant la charge de rupture par un facteur partiel de matériau.

6.4.3 Facteurs partiels de matériau

Les facteurs partiels γ_M pour l'acier peuvent être pris, soit dans des normes comme par exemple l'ISO 10721 (toutes les parties), l'ISO 630 (toutes les parties), la EN 1993-1-1 ou la EN 50341-1 en Europe, soit parmi les valeurs recommandées du Tableau 16. Les règlements nationaux peuvent spécifier d'autres valeurs.

Tableau 16 – Facteurs partiels recommandés γ_M pour l'acier

Type de structure	γ_M
Résistance des sections soumises à la traction et à la flexion	1,10
Résistance des membrures au flambage	1,10
Résistance des jointures soumises au cisaillement et en appui	1,25

Type de structure	γ_M
Résistance des sections nettes basée sur une contrainte de rupture à la traction sous une charge de traction	1,25
Résistance des jointures soudées	1,25
Résistance des boulons en traction	1,25
Câbles métalliques soumis à une force de traction	1,50

Les facteurs partiels pour les sections et les éléments des structures en bois doivent être pris comme $\gamma_M = 1,50$.

Les facteurs partiels pour les structures en béton peuvent être pris parmi les valeurs recommandées du Tableau 17. Les règlements nationaux peuvent spécifier d'autres valeurs.

Tableau 17 – Facteurs partiels recommandés γ_M pour les structures en béton

Type de structure	γ_M
Force de pré-contrainte ^a	0,90 ou 1,20
Béton	1,50
Acier d'armature (ordinaire ou précontraint)	1,15
^a Selon que l'action est favorable ou non pour l'effet calculé.	

Les contraintes de traction dans le béton des poteaux en béton précontraint ne sont pas autorisées dans les conditions suivantes:

- 66 % de la somme des charges permanentes et variables;
- somme de charges permanentes et 40 % des charges variables.

Il convient d'appliquer la EN 12843 en Europe aux mâts et poteaux préfabriqués en béton.

6.4.4 Vérification de la résistance

La vérification de la résistance doit démontrer que la résistance prenant en compte le matériau approprié et les facteurs partiels de comportement structurel est supérieure aux effets de l'action avec application de leurs facteurs partiels appropriés.

6.4.5 Vérification de l'aptitude au fonctionnement

En général, la déformation des supports et de tous les autres éléments des structures doit être dans des limites acceptables garantissant l'aptitude au fonctionnement de la ligne aérienne de contact. Il convient que le client spécifie les exigences détaillées.

La déformation peut être calculée avec les méthodes d'analyse statique décrites au 6.4.1.

Dans certains cas, par exemple sur les ponts, le déplacement dû aux vibrations doit être pris en compte.

Les types de tolérances et les limites sont donnés au Tableau 12.

6.4.6 Matériau pour les structures

En ce qui concerne les matériaux acceptables, référence doit être faite aux règlements nationaux ou aux normes suivantes:

- aux matériaux en acier et aux consommables de soudage qui doivent satisfaire aux exigences de l'ISO 10721 (toutes les parties), de l'ISO 630 (toutes les parties) et de la

EN 1993-1-1 et de la EN 1993-1-10 en Europe ainsi que des EN 10025 (toutes les parties), EN 10149 (toutes les parties) et de la EN 10164 en Europe. En général, seuls les aciers structurels de qualité S235J0, S235J2G3/G4, S355J0 et S355J2G3/G4 selon la EN 10025 (toutes les parties) en Europe ou de qualité équivalente sont préférables. Il convient de n'utiliser que des boulons de classe de résistance 4.6, 5.6, 8.8 et 10.9 selon l'ISO 898-1 (et de n'utiliser que des écrous de classe de résistance 5 et 8 selon l'ISO 898-2 et la EN 20898-2 en Europe). On doit considérer de façon appropriée les températures minimales de fonctionnement, les épaisseurs des matériaux, les contraintes de traction et les exigences pour éviter les ruptures fragiles,

- aux parties de la structure en aluminium ou en alliage d'aluminium qui doivent être conformes aux stipulations de l'ISO/TR 11069:1995 et de la EN 1999 (toutes les parties) en Europe. Les normes EN 755-1 et EN 755-2 pour les tubes extrudés et les profils en aluminium et la EN 485-1 pour les feuilles, les bandes et les plaques en aluminium doivent également être prises en compte en Europe,
- à la EN 50182 pour les conducteurs toronnés en aluminium, en alliage d'aluminium et les conducteurs composites en Europe,
- à la EN 50345 pour les câbles synthétiques en Europe,
- aux structures en béton pour nouvelle fondation dont il convient qu'elles soient conformes à la EN 1992-1 (toutes les parties) en Europe.

Lorsque des aciers différents sont proposés, il convient de prendre en considération les performances aux basses températures, par exemple par des essais d'impact ou par un retour d'expérience à long terme.

NOTE Sur cette base, l'acier S235JR est actuellement utilisé dans plusieurs pays.

Il convient que les structures en bois soient spécifiées conformément aux exigences des EN 12465, EN 12479, EN 12509, EN 12510 et EN 12511 en Europe.

La EN 10210 (toutes les parties) ou la EN 10219 (toutes les parties) doit être utilisée en Europe pour les profilés creux.

Les spécifications du client peuvent donner des lignes directrices supplémentaires. On peut également trouver à l'Annexe B des lignes directrices pour la conception des détails structuraux et dans la EN 1090 (toutes les parties) des lignes directrices pour l'acier et l'aluminium en Europe.

6.4.7 Protection contre la corrosion et traitements de surface

Les supports et structures de transversaux doivent être protégés contre la corrosion durant la durée de vie prévue. Afin d'assurer leur longévité, les éléments en acier doivent être protégés par la corrosion. De par leurs propriétés matérielles, les éléments en cuivre, en alliage de cuivre et en aluminium ne requièrent pas toujours de protection contre la corrosion. Les éléments en plastique ne sont pas sujets à la corrosion mais il est nécessaire de s'assurer de leur longévité en service.

La galvanisation des parties en acier décrite dans l'ISO 1461 est une pratique courante. De plus, l'application en usine d'une couche de peinture sur la galvanisation (système Duplex), peut être recommandée sous réserve des considérations de mise à la terre et de connexion. Il convient que le revêtement soit exempt de plomb et soit conforme aux règlements nationaux relatifs à la sécurité des conditions de travail. De plus, il convient d'appliquer les lignes directrices établies par l'exploitant.

Généralement, on prend le postulat selon lequel les travaux sont réalisés par des personnes ayant les compétences nécessaires et avec des équipements appropriés. Il convient que la réalisation des structures en acier et en aluminium soit conforme à la EN 1090 (toutes les parties) pour l'Europe.

6.5 Fondations

6.5.1 Généralités

Les paragraphes 6.5.2 à 6.5.12 contiennent des détails relatifs à l'étude géotechnique et le génie civil pour les fondations des lignes aériennes de contact, lesquels sont importants et efficaces pour la conception de supports. Les paragraphes 6.5.2 à 6.5.12 sont essentiellement basés sur la EN 1997-1:2004 et la EN 1997-2:2007 pour l'Europe et se réfèrent donc à ces deux normes le cas échéant.

En alternative, les fondations peuvent être conçues en se référant directement à la EN 1997-1:2004 et à la EN 1997-2:2007 en Europe. Lorsque ces normes sont utilisées, il convient qu'elles soient complétées avec les exigences supplémentaires prescrites des 6.5.2 à 6.5.12.

L'Annexe C fournit des renseignements sur l'étude géotechnique et les caractéristiques du sol.

6.5.2 Conception des fondations

Les fondations des supports doivent être capables de transférer les charges de la structure, résultant des actions sur le support, dans le sous-sol.

Il convient de prendre les points suivants en compte lors de la conception des fondations:

- charges et formules théoriques;
- configuration de la fondation;
- valeurs limites des déplacements;
- paramètres géotechniques théoriques tenant compte des niveaux des eaux souterraines;
- paramètres de conception pour les matériaux structurels;
- interconnexions support/fondation;
- construction de la fondation et installation;
- charges spéciales;
- résistance électrique de la fondation à la terre.

6.5.3 Calcul des actions

Les charges provenant de la conception des structures et du poteau, le poids propre de la fondation elle-même ainsi que le poids propre du sol doivent être pris en compte avec leurs valeurs théoriques telles que spécifiées en 6.3, 6.4 et 6.5.2.

6.5.4 Conception géotechnique

6.5.4.1 Bases de conception

Le présent paragraphe donne un schéma des principes généraux, qui s'applique à la conception des fondations.

La catégorie géotechnique de la fondation doit être définie conformément à la EN 1997 (toutes les parties) en Europe dans la spécification de projet. Pour les configurations à un seul poteau, la catégorie géotechnique 1 peut s'appliquer.

Les facteurs suivants doivent être pris en compte lorsque l'on détermine les exigences de conception géotechnique:

- conditions du site tenant compte de la stabilité globale et des mouvements du sol;
- nature et taille de la structure et de ses éléments, y compris les exigences particulières comme la durée de vie nominale;

- conditions par rapport aux abords de la structure;
- état du sol;
- état des eaux souterraines;
- sismicité régionale;
- influence de l'environnement;
- forces stabilisatrices du sol.

Pour chaque situation de conception géotechnique, on doit vérifier qu'aucune limite correspondante, telle que définie dans la EN 1997-1:2004 pour l'Europe, n'est dépassée.

Les états limites peuvent se produire soit dans le sol, soit dans la structure ou par une défaillance combinée dans la structure et dans le sol.

Il convient de vérifier les états limites par une des combinaisons qui suivent:

- utilisation des calculs décrits au 6.5.4.2;
- modèles expérimentaux et essais de charges décrits au 6.5.4.3;
- adoption des mesures prescriptives décrites au 6.5.4.4.

En ce qui concerne les fondations des lignes aériennes de contact électriques ferroviaires, il convient de considérer les états limites suivants:

- perte de stabilité générale;
- défaillance de résistance d'appui, rupture par poinçonnement, écrasement;
- défaillance par glissement;
- défaillance combinée dans le sol et la structure;
- défaillance structurelle due au mouvement des fondations;
- tassements excessifs;
- effort excessif causé par un renflement, le gel et autres causes.

Si des poteaux d'ancrages sont utilisés pour stabiliser la structure, les états limites des ancres de la EN 1997-1:2004, 8.2 en Europe, doivent être également pris en compte. Si des fondations profondes sont utilisées, les états limites des pieux de la EN 1997-1:2004, 7.2 en Europe, doivent être également pris en compte.

Il convient de considérer ce qui suit pour la conception et la construction:

- pour éviter les effets du gel, il convient de considérer les dispositions de la EN 1997-1:2004, 6.4 en Europe;
- il convient de choisir le type de fondation et la méthode d'installation des fondations des poteaux le long des voies ferrées par rapport aux conditions géométriques particulières de la surface du sol et aux strates du sol normalement rencontrées;
- les valeurs limites des déplacements du sommet de la fondation dans différentes directions (attribuable à la rotation angulaire) doivent être à la fois estimées sur les états limites ultimes et de service, lesquels tiennent compte de la rigidité du poteau;
- lors du calcul des tassements de la fondation, il convient de considérer également le tassement du remblai.

Il convient de résumer les résultats de la conception géotechnique dans un Rapport d'Etude Géotechnique mentionnant le type et les dimensions des fondations ainsi que les exigences spéciales pour l'installation et la surveillance, s'il y a lieu. Se référer à la EN 1997-1:2004, 2.8 en Europe pour des informations complémentaires.

Les méthodes et formules concernant l'étude géotechnique se réfèrent aux spécifications respectives du client.

6.5.4.2 Conception géotechnique par calcul

Avant la conception, une investigation des sols doit être réalisée pour établir les paramètres théoriques géotechniques. L'Annexe C donne des indications pour l'investigation des sols et la sélection de paramètres géotechniques.

Le modèle de calcul doit décrire le comportement du sol pour l'état limite considéré.

Chaque fois que c'est possible, il convient que le modèle de calcul soit corrélé avec des observations sur le terrain de conceptions antérieures, des essais de maquettes ou des analyses plus fiables.

Les formules à utiliser pour déterminer la résistance de la fondation sont celles données dans le code de bonnes pratiques approprié, dans la EN 1997-1:2004 en Europe, dans les Annexes Nationales respectives, dans la littérature appropriée ou celles qui ont été utilisées avec succès dans la pratique.

La formule de conception générale a la forme de:

$$E_d \leq \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (19)$$

où

E_d est la valeur de conception de la charge structurelle;

R_k est la valeur caractéristique de la résistance ultime de la fondation;

γ_M est le facteur partiel pour la résistance.

NOTE Des exigences supplémentaires pour le choix des valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques sont données dans la EN 1997-1:2004, 2.4.5.2 en Europe.

Si les recherches sur le sol ne produisent pas d'autres valeurs, on peut estimer les caractéristiques du sol au moment de la conception des fondations en se basant sur l'Annexe C (si elle s'applique), un code de bonnes pratiques approprié, la littérature appropriée ou les spécifications respectives du client.

En présence d'eaux souterraines, la réduction de la capacité de charge de la fondation due aux poussées doit être prise en compte lors de l'analyse et on doit retenir la configuration la plus défavorable.

La résistance théorique des fondations est différente selon qu'il s'agit d'une fondation sur pieux, d'une fondation en dalle et d'une fondation par massif, selon le type de charge ainsi que les caractéristiques du sol et les conditions d'installation. La stabilité d'une fondation soumise à des moments de renversement ou à des forces axiales ainsi qu'à la pression du sol environnant doit être vérifiée. Sinon, la vérification d'une fondation peut être exécutée en se basant sur des valeurs caractéristiques en appliquant des modèles de calcul éprouvés s'ils ont apporté la preuve de leur efficacité sur le long terme.

6.5.4.3 Essais de charge et essais sur modèles expérimentaux

Des essais de charge ou des essais sur des modèles expérimentaux représentent une méthode valable pour justifier la conception des fondations ou pour éprouver la résistance des fondations individuelles que ce soit des fondations d'essai ou de production. Des détails concernant la préparation des essais, les dispositifs d'essais, la procédure d'essai et l'évaluation sont donnés dans la CEI 61773.

Des règles générales de conception par des essais de charge sont aussi données dans la EN 1997-1:2004, 2.6 pour l'Europe. Dans ce cas, il convient de réaliser un programme spécial pour l'essai de charge en considérant les conditions de site, le type de procédure d'installation des fondations et les situations des charges réelles. Il convient de considérer les déformations avec des charges variables.

Les résultats des essais de charge doivent être consignés et évalués. Pour l'évaluation, on peut se référer à la CEI 61773 et à la littérature. Se référer à la EN 1997-1:2004, Article 7 en Europe pour l'essai de charge des pieux.

Le client peut également spécifier des règles de conception évaluées pour un type de fondation et une méthode de fondation spécifiques par des essais de charge ou des essais sur des modèles expérimentaux.

6.5.4 Etude géotechnique par des mesures prescriptibles

Dans les cas où les modèles de calculs ne sont pas disponibles ou pas nécessaires, la conception peut se faire à l'aide de mesures prescriptives confirmées par l'expérience. Cela implique des détails de conception conventionnels et généralement prudents et ainsi qu'une attention aux spécifications et contrôle des matériaux, à la main-d'œuvre ainsi qu'aux procédures de maintenance.

Les méthodes prescriptives peuvent être utilisées lorsque des expériences comparables existent et que les situations de charge et conditions de sol sont égales à ou plus favorables que celles relevant de l'expérience. Pour plus d'informations, voir la EN 1997-1:2004, 2.5 en Europe.

Des références à ces règles conventionnelles et généralement prudentes peuvent être données dans les spécifications d'achat respectives.

6.5.5 Conception structurelle

Il convient de baser la conception structurelle du corps de la fondation sur des charges théoriques. La conception peut aussi tenir compte d'une capacité supplémentaire selon la conception des structures.

La caractérisation, le calcul des forces et des moments de flexion ainsi que l'installation des fondations par massifs en béton doivent être réalisés selon la EN 1992-1 (toutes les parties) en Europe.

Se référer à la EN 1997-1:2004, 6.8 en Europe pour les exigences structurelles spéciales des fondations en dalle.

La caractérisation de l'armature en acier doit être réalisée selon la EN 1992-1-1 en Europe. Il convient d'appliquer également les règles de conception du béton non armé de la EN 1992-1-1 en Europe lorsque cela est possible.

La conception structurelle des pieux dépend essentiellement du type de pieux. Les pieux subissent des forces axiales et de cisaillement ainsi que de la flexion. Les charges maximales combinées doivent être déterminées en conséquence et les sections doivent être vérifiées en utilisant les normes appropriées telles que la EN 1992-1-1 en Europe pour les pieux en béton, l'ISO 10721 (toutes les parties) et la EN 1993-1-1 en Europe pour les pieux en acier. Les forces et moments internes peuvent être calculés en utilisant les méthodes appropriées présentées dans la littérature et/ou vérifiées par une application à long terme.

NOTE Des informations supplémentaires sur la conception structurelle des pieux sont données au 7.8 de la EN 1997-1:2004 pour l'Europe.

Lorsque cela est possible, la limitation de la déformation doit être prise en compte conformément au 6.5.7.

6.5.6 Facteurs partiels pour les fondations

Les facteurs partiels pour l'étude géotechnique dépendent du type de fondation et du type de charge.

Les facteurs partiels peuvent être spécifiés par le client selon le type de fondation, l'approche utilisée pour leur vérification et les conditions nationales.

Sinon, les facteurs partiels du Tableau 18 peuvent être adoptés.

Tableau 18 – Facteurs partiels recommandés γ_M pour les fondations

Type de structure	γ_M
Fondations en dalle	
Résistance d'appui	1,4
Résistance terre et résistance d'appui	1,4
Résistance au glissement	1,1
Fondations avec des pieux	
Résistance des pieux à la compression	1,4
Résistance de fût des pieux en tension	1,5

Les valeurs des facteurs partiels peuvent être choisies dans la EN 1997-1 en Europe, en prenant en considération les paramètres géotechniques et le modèle théorique appropriés.

6.5.7 Vérification de stabilité

En général, la preuve de la stabilité doit vérifier que la résistance, incluant les facteurs partiels, est supérieure aux charges théoriques incluant les facteurs partiels. Les méthodes de vérification de la stabilité sont celles données dans le code de bonnes pratiques approprié, tel que défini dans la EN 1997-1:2004 pour l'Europe, dans les Annexes Nationales respectives ou dans la littérature appropriée ou bien celles qui ont été utilisées avec succès dans la pratique.

La conception des fondations des poteaux doit être vérifiée à l'état limite ultime indiqué au 6.5.4.1 utilisant des actions théoriques ou les effets des actions et la résistance théorique.

En cas de remblai sur une pente, la stabilité générale doit être analysée selon les dispositions de la EN 1997-1:2004 en Europe, Article 11.

Lorsqu'une fondation est entourée d'un terrain meuble, la résistance doit être calculée comme une fondation directement installée dans un sol naturel. Il en est de même lorsqu'elle est réalisée par excavation et remblai.

Pour les fondations sur pieux, il doit être vérifié que le moment de flexion théorique du pieu au raccordement du pilier et du pieu n'est pas dépassé.

NOTE Pour les fondations symétriques par rapport à un axe, l'analyse peut être réalisée dans la direction des actions résultantes et des moments de renversement. Pour les autres fondations, il convient que la vérification soit faite dans deux directions en prenant en compte les zones de chevauchement des résistances dans le sol.

Lorsque cela s'applique, par exemple pour des fondations avec une base rectangulaire soumises à des moments dans différentes directions, la stabilité peut être vérifiée par la formule suivante.

$$\frac{M_{dyy}}{R_{dyy}} + \frac{M_{dzz}}{R_{dzz}} \leq 1,0 \quad (20)$$

où

M_{dyy} , M_{dzz} sont les moments théoriques;

R_{dyy} , R_{dzz} sont les résistances aux moments théoriques.

6.5.8 Calcul des déplacements

Afin de garantir l'aptitude au fonctionnement de la ligne de contact, il est nécessaire de limiter les déplacements selon les exigences de l'exploitant comme indiquées dans les spécifications du client. Les déplacements des supports et des structures en totalité doivent être conformes au 6.4.5. Une déformation de la fondation doit être considérée comme une contribution à la déflexion totale de la structure.

Une contribution significative aux déplacements peut être identifiée en utilisant les méthodes appropriées décrites dans la littérature, par exemple basées sur les modules d'infrastructure des strates du sol rencontrées.

Les méthodes de calcul des déplacements sont celles données dans le code de bonnes pratiques approprié, comme par exemple dans la EN 1997-1:2004, 2.4 pour l'Europe, dans les Annexes Nationales respectives, dans la littérature appropriée ou encore celles qui ont été utilisées avec succès dans la pratique.

La conception des fondations des poteaux doit être vérifiée à l'état limite de l'aptitude au fonctionnement en utilisant les états limites appropriés du 6.5.1.

NOTE L'état limite de l'aptitude au fonctionnement est souvent l'état limite crucial pour des fondations pour un poteau unique.

6.5.9 Matériaux pour les fondations

Les principaux matériaux utilisés pour les fondations sont le béton, l'acier des armatures et les profils ou les tubes en acier.

LA EN 206-1 s'applique pour le béton en Europe. Pour les fondations des lignes aériennes de contact, la qualité du béton doit être au moins C16/20 pour supporter suffisamment le givre. La teneur minimum de ciment doit être 240 kg/m³. Des teneurs plus élevées peuvent être exigées par les spécifications du client.

Les structures en béton doivent être conformes à la EN 1992-1-1 en Europe.

Les pieux en acier de construction doivent être fabriqués à partir de matériaux conformes à la EN 10025-1 en Europe; il convient d'utiliser de préférence les qualités d'acier mentionnées au 6.4.6.

Les matériaux des pieux battus doivent être conformes aux exigences de la EN 12699 en Europe.

6.5.10 Détails structurels

Il est nécessaire de porter une attention particulière à l'interaction entre support et fondation, spécialement lorsque la fatigue a une influence. C'est également une pratique courante d'installer les boulons d'ancrage dans la fondation et de fixer le support à ces boulons d'ancrage. Pour la conception des boulons d'ancrage, il doit être fait référence à la EN 50341-1:2001, Tableau K.2 en Europe.

Les supports peuvent être insérés dans le corps de la fondation. Les dimensions des trous dans le corps de la fondation doivent être suffisamment grandes pour permettre l'ajustement du support. Un espace de 0,1 m entre le trou et le support est conseillé. Cet espace peut être rempli avec du sable, du gravier ou du béton. On doit placer une couche de béton suffisamment épaisse au sommet du trou pour prévenir toute infiltration d'eau; une épaisseur d'au moins 0,2 m est conseillée. Il convient de suivre les exigences de la EN 1992-1-1 en Europe en ce qui concerne la couverture en béton.

Pour protéger les supports contre l'humidité et les agressions du sol, il convient que le haut de la fondation se situe au-dessus du niveau du sol; une hauteur d'au moins 0,3 m est conseillée. Il convient de modeler la surface supérieure de la fondation pour éviter l'eau stagnante.

Dans les zones urbaines accessibles au public, il convient d'entourer la base du poteau d'une protection.

6.5.11 Protection contre la corrosion et l'altération

La protection des fondations contre l'altération climatique et la corrosion doit être réalisée en choisissant du béton de qualité appropriée et de compacité suffisante. Il convient de prendre en compte les exigences données dans la EN 1992-1-1 en Europe pour ce qui concerne le revêtement en béton de l'armature en acier. De plus, pour limiter toute fissure, un renforcement structurel peut être appliqué sur la partie superficielle des fondations en béton en accord avec les spécifications du client.

Les pieux en acier doivent être correctement protégés contre la corrosion. Ceci peut être réalisé en mettant une gaine de béton ou en appliquant une couche épaisse de matériau protecteur. Comme alternative aux mesures de protection mentionnées, on peut envisager de contrer la corrosion prévue de l'acier en augmentant son épaisseur.

Les supports et les fondations des structures pour les installations ferroviaires en courant continu nécessitent d'être protégés contre la corrosion due aux courants vagabonds. Se référer à la CEI 62128-2 pour les détails.

Les boulons d'ancrage doivent être protégés contre la corrosion. En cas de galvanisation, il convient qu'une protection supplémentaire soit appliquée si cela est spécifié par le client.

Pour les pieux en acier, il convient que la section, pour la conception structurelle, soit réduite par une mesure correspondant à la corrosion moyenne dans le sol au cours de toute leur durée de vie, voir l'ISO 10721 (toutes les parties) et la EN 1993-5 en Europe ou les spécifications du client. La galvanisation à chaud protège l'acier contre la corrosion dans les sols drainés et riches en chaux mais ralentira seulement le taux de corrosion dans les sols saturés. Un revêtement organique, par exemple en époxy ou en polyéthylène, peut être utilisé si la fondation est installée par excavation et remblai. Il convient de prendre également en compte la pérennité du revêtement lui-même.

6.5.12 Conception électrique

Des fondations peuvent être utilisées comme prises de terre, surtout dans les réseaux en courant alternatif. La prise de terre est constituée d'une connexion électrique à l'armature de la fondation. Il convient de considérer les points suivants pour assurer une diminution de la résistance à la terre:

- aucune isolation entre l'armature et le sol (résistivité du béton non comprise);
- la résistance de terre diminuera avec une augmentation de la longueur et du diamètre de la prise de terre, la longueur étant plus significative.

6.5.13 Installation des fondations

Bien que les exigences générales d'installation des lignes aériennes de contact ne soient pas incluses dans la présente norme, des exigences pour l'installation des fondations sont

nécessaires puisque les détails des fondations ne peuvent pas être facilement inspectés à une étape ultérieure pour assurer la conformité avec la conception.

Les fondations en béton doivent être construites et installées conformément à la EN 1992-1-1 en Europe. Se référer également à la EN 1997-1:2004 en Europe.

La méthode d'installation décrite dans le Rapport d'Etude de Géotechnique doit être transformée en un programme d'installation, en prenant en compte les conditions réelles du site et les paramètres du sol exigés.

Se référer à la EN 1997-1:2004, Articles 4, 5 et 7 en Europe pour ce qui concerne les exigences générales de vérification, de surveillance et de contrôle des installations.

Lors de l'excavation d'une fondation, le sol sous la fondation ne doit pas être remué et doit être protégé contre les effets perturbateurs, comme par exemple le gel ou l'infiltration d'eau souterraine. Se référer à la EN 1997-1:2004, 6.9 en Europe.

Il convient de mettre en place un plan d'action de façon que, si les conditions environnantes diffèrent de celles prévues, on puisse utiliser une fondation alternative ou changer les dimensions de la fondation existante. Pendant l'excavation, on doit prêter attention à la compatibilité entre les prévisions faites pour la conception et le profil du sol rencontré. Il convient de toujours assurer une surveillance appropriée pendant la construction de la fondation.

Tout remblai doit être compacté pour atteindre des caractéristiques de sol aussi proches que possible de celles d'un sol non remanié.

Le battage des pieux doit être consigné et l'enregistrement du battage des pieux doit être contrôlé par rapport aux exigences spécifiées pour obtenir la stabilité requise.

On doit spécifier si les fondations battues dans le sol l'ont été avec ou sans critère de préforage pour estimer leur capacité. Des exigences générales concernant la surveillance de la construction sont données dans la EN 1997-1:2004, 7.9 en Europe.

Des exigences concernant la réalisation de pieux forés sont données dans la EN 1536. Des exigences concernant la réalisation avec refoulement de sol sont données dans la EN 12699. Des exigences concernant l'exécution des ancrages au sol sont données dans la EN 1537 en Europe.

Il convient que les résultats de contrôle, de surveillance et des activités de maintenance, confirmant que la construction et l'installation ont été faites conformément aux exigences données, soient compilés dans un rapport en tant qu'addenda au Rapport d'Etude Géotechnique. S'il y a des divergences qui pourraient affecter le comportement des fondations, il convient de les rapporter dans l'addenda ainsi que les effets possibles analysés.

7 Exigences pour les composants

7.1 Généralités

7.1.1 Durée de vie théorique

Dans les conditions normales de fonctionnement, les composants des systèmes de ligne aérienne de contact doivent avoir au moins une durée de vie égale à la durée de vie théorique du système sauf stipulations contraires du fournisseur ou du client (par exemple les fils de contact).

7.1.2 Identification des composants

Sauf exigence contraire dans les normes de produit applicables et si la forme et les dimensions des composants le permettent, tous les composants doivent comporter l'identification du fabricant et l'identification du composant. Le marquage doit faire l'objet d'un accord avec le client.

7.1.3 Corrosion et érosion

Une protection de surface doit être prévue sur les composants contenant des matériaux ferreux. Les conditions locales d'environnement doivent être prises en compte pour déterminer le type et l'épaisseur de la protection des surfaces. Une protection de surface n'est pas nécessaire pour les composants en matériaux résistant à la corrosion.

Une protection supplémentaire doit être envisagée pour les torons internes des câbles multibrins en acier (par exemple: le graissage).

Les pinces, les griffes de jonction et autres accessoires ne doivent pas présenter de problèmes de contact bimétallique vis-à-vis des conducteurs sur lesquels ils sont en contact. On doit prendre en compte les rétentions d'eau de façon à écarter les dommages potentiels pendant les périodes de gel.

Les composants doivent être conçus de façon à éviter le risque de fissure due à la corrosion sous contrainte.

7.2 Armements

Les armements doivent être conçus pour ne jamais engager les gabarits cinématiques et de saillies du véhicule ainsi que les gabarits d'isolement du pantographe avec une marge spécifiée dans l'étude du système.

Les anti-balançants doivent être conçus pour satisfaire aux exigences suivantes:

- les désaxements du fil de contact et du porteur sont maintenus à l'intérieur de la tolérance définie pour le désaxement du fil de contact par rapport à l'axe de la voie (voir 5.14),
- le mouvement longitudinal du fil de contact et du porteur dû aux variations de température est pris en compte,
- le cas extrême du soulèvement du fil de contact peut être pris en compte sans produire de collision mécanique du pantographe avec toute partie de l'anti-balançant en tenant compte de l'usure maximale admise et des variations de tolérance du pantographe,
- la masse des pièces en mouvement de l'anti-balançant, y compris les connexions au fil de contact et au tube de l'anti-balançant ou au montage support, doit être maintenue à un niveau minimal pour parvenir à la qualité de captage de courant spécifiée.

7.3 Fil de contact

Le fil de contact doit être conforme en Europe aux exigences de la EN 50149 et en Chine aux exigences du TB/T 2809-2005.

7.4 Autres câbles et conducteurs

Les conducteurs toronnés doivent être conformes en Europe aux exigences de la EN 50182 (pour les ACSR et AACSR) ou aux autres normes appropriées, suivant les types de conducteurs. Les câbles synthétiques doivent être conformes en Europe à la EN 50345. Il convient que tous les autres fils ou les câbles dans les pays non-européens soient conformes aux normes internationales ou nationales appropriées.

Lorsque les brins des conducteurs sont graissés, la graisse doit être choisie de sorte que son point de fusion ne soit pas inférieur à l'échauffement maximal du conducteur (déterminé selon 5.1.2).

Les charges en service doivent être conformes aux exigences de l'Article 5.

7.5 Equipements tendeurs

L'équipement tendeur doit maintenir la tension mécanique des conducteurs de la ligne aérienne de contact, définie dans les spécifications du client. Le dispositif doit être conçu pour assurer l'efficacité définie dans les spécifications du client sur toute la gamme de température théorique définie pour l'équipement.

Une attention particulière doit être portée à la protection contre la corrosion de toute installation de support dans les équipements tendeurs. Des consignes appropriées en matière de maintenance doivent être disponibles afin d'assurer le bon fonctionnement de l'équipement tendeur.

Si des poids sont utilisés dans les équipements tendeurs, ceux-ci doivent être placés hors d'atteinte du public. Si cela ne peut être réalisé, des précautions adéquates doivent être prises pour s'assurer que la sécurité du public est garantie. La sécurité du public doit être assurée par l'emploi d'un équipement spécifique tel qu'une barrière de protection ou un dispositif anti-chute.

Le dispositif anti-chute doit fonctionner correctement sans déformation permanente du dispositif à une charge de 1,33 fois la charge maximale autorisée en service.

Pour assurer que, dans le cas d'un incident, l'équipement tendeur ne subisse pas de défaillance, la charge de rupture de l'équipement tendeur doit être supérieure à la charge de rupture du conducteur sous tension mécanique.

7.6 Points médians mécaniques

7.6.1 Généralités

Des points d'ancrage fixes, des arrimages ou d'autres dispositifs doivent être utilisés dans la longueur totale du canton de pose de la ligne aérienne de contact ayant la tension mécanique régulée afin que les conducteurs ne se déplacent pas vers une extrémité en induisant des variations des conditions de charges. Ce problème est couramment traité en installant un dispositif d'ancrage approximativement à mi longueur du canton de pose, ou bien à un endroit qui équilibre au point médian les efforts s'exerçant dans le sens longitudinal à la voie.

Des points fixes destinés à éviter des dommages importants au système de ligne aérienne de contact en cas de rupture du conducteur ne sont pas exigés, à moins que cela ne soit indiqué dans les spécifications du client.

7.6.2 Porteur avec ancrage fixe

La conception du porteur avec ancrage fixe doit prendre en compte les différentes charges de tension du porteur ou du fil de contact. La valeur la plus élevée doit s'appliquer.

Pour les consoles, le point fixe doit être conçu de manière à éviter le mouvement de la console. Pour les suspensions transversales, des mesures doivent être prises pour s'assurer que les câbles transversaux peuvent supporter la charge longitudinale exigée.

Par exemple, plusieurs suspensions transversales adjacentes peuvent servir de point fixe.

7.6.3 Fils de contact avec points fixes

Si un fil de contact avec des points fixes est exigé, on peut le réaliser de plusieurs manières. Par exemple, le fil de contact est relié au porteur par un câble situé près de l'ancrage fixe du porteur et est ainsi fixé dans cette position sur toute la longueur de la voie.

La conception des points fixes du fil de contact doit prendre en compte la différence des forces de tension en service du fil de contact de chaque côté des points fixes.

7.7 Pendules

7.7.1 Exigences mécaniques

Les pendules peuvent être rigides, souples ou coulissants. Les différents types doivent supporter les charges définies dans les spécifications du client, sans effet contraire sur la performance du pendule durant la durée de vie nominale du système.

Le facteur de sécurité pour le pendule entier doit être de 2,5 pour les charges de fonctionnement verticales et de 1,5 pour les charges de fonctionnement horizontales.

Les charges de service suivantes doivent être prises en compte lors de la conception des pendules:

- les charges verticales provenant du poids du fil de contact, des charges de givre, des charges de vent et des charges venant du profil du fil de contact;
- les charges horizontales dans l'axe du fil de contact venant d'une inclinaison maximale de 30° du pendule;
- les charges dynamiques venant des vibrations, du flambage du pendule, etc.

En plus des charges de service, les charges supplémentaires suivantes doivent être considérées:

- charges pendant la construction;
- charges temporaires résultant de défaillances (par exemple la défaillance d'un pendule adjacent).

Lorsque ces charges supplémentaires sont plus grandes que 2,5 fois les charges de service, elles doivent être utilisées pour la conception du pendule au lieu des charges de service. Les charges supplémentaires inférieures à 2,5 fois les charges de service peuvent être négligées.

Les charges appliquées par le personnel se tenant sur ou attaché au fil de contact, peuvent ne pas être prises en compte.

7.7.2 Exigences électriques

Les pendules peuvent être définis, soit comme participant à l'échange du courant, soit comme ne participant pas à l'échange du courant, soit comme étant isolants.

Les pendules participant à l'échange de courant doivent être conçus pour permettre au courant de circuler entre les fils de contact et le porteur. La conception électrique doit prendre en compte la répartition du courant entre les pendules sur au moins une portée. Un court-circuit près d'un pendule unique peut provoquer un courant de court-circuit très important dans le pendule. Dans ces circonstances, la résistance du pendule aux courts circuits n'est pas nécessaire.

Les pendules ne participant pas à l'échange de courant ne sont pas conçus pour transporter le courant. Cependant, en pratique, le courant peut circuler dans le cas où une différence de potentiel est présente à travers le pendule. Si la conception limite le flux du courant, alors des pendules isolés sont exigés.

7.8 Pincés et accessoires de ligne

7.8.1 Exigences mécaniques

Il convient que les pincés d'ancrage soient capables d'assurer le maintien des câbles, et des fils, avec un minimum de 2,5 fois la charge en service, ou bien avec 85 % de la charge de rupture calculée des conducteurs. La valeur la plus faible doit être atteinte dans tous les cas. Les pincés d'ancrage utilisées ne doivent pas subir de déformations permanentes susceptibles d'altérer le fonctionnement à 1,33 fois la charge de service.

Le coefficient de sécurité des autres pincés et accessoires de ligne doit être égal à 2,5 fois la charge de service. Les pincés et les accessoires de ligne soumis à des vibrations doivent être conçus pour empêcher le desserrage au fil du temps. De plus, il convient que la masse des accessoires en ligne reste minimale, dans les limites de fonctionnalité de la pièce.

Ces valeurs donnent les exigences minimales qui peuvent être augmentées par les règlements nationaux.

7.8.2 Exigences électriques

Les pincés et accessoires de ligne doivent fournir un cheminement pour le flux de courant normal et le courant de court-circuit sans causer de défaillance.

7.9 Raccords électriques

Les raccords électriques (qui n'incluent pas les pendules participant à l'échange de courant) doivent avoir les caractéristiques suivantes:

- être aptes à supporter des charges thermiques cycliques sans réduction de l'intégrité mécanique et électrique;
- l'échauffement sous le courant de court-circuit spécifié ne doit pas provoquer de fusion, de déformation ni excéder la température maximale admissible du fil donnée dans le Tableau 1 (non compris le courant transitant par les pendules);
- la température des raccords électriques en fonctionnement normal ne doit pas dépasser la température maximale admissible du conducteur.

7.10 Isolateurs

Les normes suivantes spécifient les exigences de conception de la plupart des isolateurs utilisés dans les lignes aériennes de contact.

Pour les isolateurs en matière céramique ou en verre:

- CEI 60071 (toutes les parties);
- CEI 60305;
- CEI 60672-1;
- CEI 60672-3;
- CEI 60433.

Pour les isolateurs en matière composite:

- CEI 62621.

Pour les isolateurs supports:

- CEI 60273.

Lorsque d'autres conceptions sont requises, leurs exigences fonctionnelles doivent être contenues dans les spécifications du client.

Les valeurs des lignes de fuite nécessaires pour différents niveaux de pollution sont spécifiées dans la CEI 62497-1, pour la tension d'isolement assignée du système de ligne aérienne de contact.

7.11 Dispositifs de sectionnement

7.11.1 Définition

Le terme "dispositif de sectionnement" se réfère aux isolateurs de section et aux isolateurs de section neutre.

7.11.2 Exigences mécaniques

Le dispositif de sectionnement doit être conçu de manière qu'aucune déformation permanente ou temporaire avec une influence négative sur le fonctionnement n'apparaisse sous 1,33 fois la charge de traction en service. Lorsqu'il est parcouru par un pantographe à la vitesse de service définie au 5.2.5, les forces de contact doivent satisfaire au 5.2.4.2. En outre, le dispositif de sectionnement ne doit pas provoquer d'avaries à l'archet du pantographe.

Se référer au 7.8.1 en ce qui concerne les exigences des pinces d'ancrage des dispositifs de sectionnement.

7.11.3 Exigences électriques

Les isolateurs du dispositif de sectionnement doivent se conformer aux exigences électriques du 7.10. Lorsque le pantographe passe sur l'élément isolant, on doit prendre en compte l'éventuel dépôt de carbone ou de métal provenant du pantographe.

Un isolateur de section doit être conçu pour supporter les arcs provoqués par le passage des pantographes dans les conditions de fonctionnement normales et dans les conditions d'urgence lorsqu'un pantographe passe dans les sections neutres ou à la terre sans réduction de son intégrité mécanique dangereuse pour son fonctionnement.

7.12 Sectionneurs et commandes

Les sectionneurs, de même que les commandes et les liaisons à installer, doivent être conformes aux exigences des sectionneurs en courant continu stipulées dans la CEI 61992-4 et des sectionneurs en courant alternatif stipulées dans la CEI 62505-2. Ils doivent être conçus pour le courant assigné et la tension assignée du système.

Les sectionneurs doivent être adaptés pour interrompre les courants de fonctionnement assignés pour un nombre de cycles de commutation si cela est déterminé dans la spécification du client.

Les sectionneurs doivent avoir les capacités d'enclenchement et de déclenchement, soit à vide, soit en présence des courants spécifiés. Le client doit spécifier les pouvoirs de coupure et de fermeture exigés ainsi que l'endurance mécanique et électrique.

La coupure du courant peut provoquer des arcs. Les sectionneurs doivent être installés de façon que l'arc n'endommage pas les autres parties de l'installation.

7.13 Dispositifs de protection

7.13.1 Protections et obstacles

Des protections isolantes peuvent être exigées. Leur application dans les lignes aériennes de contact suffit à fournir une protection mécanique contre les dommages ou une isolation électrique convenable. Les distances d'isolement pour les obstacles sont données dans la CEI 62128-1.

7.13.2 Dispositifs de protection contre les surtensions

Les dispositifs de protection contre les surtensions, tels que les parafoudres et les éclateurs, doivent être conçus pour le courant assigné correspondant du système et pour la tension si nécessaire. Ils doivent être capables de couper l'intensité assignée lorsque la charge de coupure est spécifiée. Les dispositifs doivent satisfaire aux exigences données dans les CEI 62128 (toutes les parties), CEI 61992 (toutes les parties), CEI 62497 (toutes les parties), CEI 62505 (toutes les parties) et CEI 60099 (toutes les parties).

7.14 Composants spécifiques aux systèmes de trolleybus

7.14.1 Généralités

Les paramètres en matière de performances pour la conception des composants des trolleybus doivent être définis dans l'étude du système en fonction de ses exigences mécaniques et électriques.

En particulier, ce qui suit doit être pris en compte:

- la masse des pièces en mouvement, y compris les connexions au fil de contact, doit être maintenue au minimum pour obtenir un bon captage de courant, sans interrompre la transmission du courant aux trolleybus;
- les caractéristiques mécaniques des assemblages et des composants, y compris leur poids, doivent leur permettre d'être suspendus aux structures portantes avec des câbles isolants ou en acier;
- les paramètres électriques doivent prendre en compte la possible activation de ces composants par des impulsions de courant ou des systèmes «sans fil», comme des systèmes à radiofréquence ou à infrarouge.

7.14.2 Aiguillages et croisements

7.14.2.1 Exigences mécaniques

Les aiguillages et les croisements doivent être conçus de manière qu'aucune déformation permanente ou temporaire n'apparaisse sous 1,5 fois la charge de traction maximale en service.

Aucune avarie ne doit survenir à la tête de captage de courant pendant le passage du trolleybus à l'aiguillage ou au croisement à la vitesse maximale définie entre le fournisseur et le client.

7.14.2.2 Exigences électriques

Le niveau d'isolement des aiguillages des trolleybus doit être tel que défini dans la CEI 62497-1.

Quand le système de commande de l'aiguillage a une alimentation de tension différente (par exemple courant alternatif/courant continu basse tension), le niveau d'isolement exigé doit être tel que défini dans la CEI 60947-1.

8 Essais

8.1 Généralités

Les essais des composants comprennent trois types d'essais différents; les essais de type, les essais sur prélèvement aléatoire, les essais individuels de série.

Les essais de type ont pour but d'établir les caractéristiques de conception. Ils sont normalement réalisés une seule fois et répétés seulement si la conception ou le matériau des

composants sont changés. Les résultats des essais de type sont consignés comme preuve de conformité aux exigences de conception. S'il y a un groupe de composants similaires, il doit être suffisant de réaliser un essai de type sur l'un des types de composants du groupe.

Les essais sur prélèvement aléatoire servent à contrôler la production. Si des essais statistiques de qualité sont réalisés pour contrôler la production, leurs résultats peuvent être acceptés comme substitut à la réception.

Les essais individuels de série ont pour but de prouver la conformité des composants avec une forte probabilité de défaillance aux exigences spécifiques et sont réalisés sur chaque composant. Les essais ne doivent pas endommager le composant. Après un essai positif, l'échantillon soumis aux essais peut être utilisé dans une installation.

Il convient que l'essai individuel de série détecte les défauts latents susceptibles d'influencer la sûreté de fonctionnement du composant. Les essais individuels de série sont généralement des essais de charge, de détection magnétique des fissures, des essais aux ultrasons, aux rayons X, des mesures de résistance et d'isolement ou d'autres méthodes d'essai non-destructeurs.

8.2 Armements

8.2.1 Essai de type

8.2.1.1 Domaine d'application

Au moins quatre échantillons d'essai doivent être choisis. Tous les composants ou pinces qui sont soumis aux essais de type ne doivent pas être utilisés pour d'autres essais ni pour une application opérationnelle.

Les essais suivants doivent être réalisés:

- essai de matériau;
- vérification dimensionnelle et contrôle visuel;
- essai fonctionnel;
- essai de capacité de charge mécanique;
- essai de cycle d'échauffement.

Toutes les conditions d'essais, les dispositifs d'essais et les résultats d'essais doivent être consignés dans un rapport d'essai.

8.2.1.2 Vérification des matériaux

Les essais de type doivent inclure la vérification des matériaux pour s'assurer qu'ils sont conformes aux documents contractuels. Cette vérification peut être réalisée par l'examen de la documentation concernant les spécifications d'achat des matériaux, des certificats de conformité et des autres documents relatifs à la qualité.

8.2.1.3 Vérification des dimensions et contrôle visuel

On doit mesurer sur les échantillons les dimensions fonctionnelles indiquées sur le dessin. L'examen visuel doit vérifier la condition générale et la surface des échantillons à la recherche de fissures, de traces d'effondrement, de bavures ou d'éclats inadmissibles, etc.

8.2.1.4 Essai fonctionnel

Les échantillons doivent être assemblés conformément aux instructions d'assemblage du fournisseur avec tous les éléments de connexion nécessaires. Les boulons doivent être serrés à 1,1 fois le couple de serrage indiqué par le fournisseur ou les exigences nationales. Si aucune valeur n'est fournie, les boulons doivent être serrés à 1,1 fois le couple de serrage

indiqué dans le Tableau 19. Les dimensions importantes pour le fonctionnement doivent être vérifiées. Aucune déformation permanente ne doit être autorisée à moins qu'elle ne soit prévue dans la conception.

Le couple de serrage à appliquer correspond à la limite inférieure de variabilité de la friction d'un certain boulon.

Un coefficient de friction plus faible, $\mu_{\text{tot}} = 0,1$ ou $0,12$, peut être adopté, par exemple pour la boulonnerie répertoriée dans le Tableau 20.

Lorsque des boulons avec écrous hexagonaux sont utilisés, il est recommandé de les appairer selon le Tableau 21.

Tableau 19 – Couples de serrage M_t pour boulon usuel

Couples en Newton mètres

Dimensions de filetage	Matériau des boulons					
	Aciers non alliés et alliés conformément à l'ISO 898-1 galvanisés à chaud (tZn)			Aciers résistants à la rouille et à l'acide Groupes d'aciers A2 et A4		Alliage cuivre-nickel CU5
	Classe de résistance			Classe de résistance		
	4.6	5.6	8.8	70	80	
	$R_{p\ 0,2\ \text{min}} =$			$R_{p\ 0,2\ \text{min}} =$		$R_{p\ 0,2\ \text{min}} =$
	240 N/mm ²	300 N/mm ²	640 N/mm ² ^a	450 N/mm ²	600 N/mm ²	540 N/mm ²
M8	-	-	23	16	22	20
M10	-	-	46	32	43	39
M12	25	38	80	56	75	68
M16	60	90	195	135	180	165
M20	120	180	390	280	370	330

NOTE Les valeurs du présent tableau ont été élaborées en appliquant les hypothèses suivantes:

- le boulon peut être serré jusqu'à sa limite d'élasticité minimale garantie;
- les couples de serrage sont basés sur un coefficient de friction pour les filetages et les supports de tête de $\mu_{\text{tot}} = 0,12$;
- un écart de 10 % est déjà pris en compte dans les valeurs du tableau quand on applique le couple de serrage:
 $M_{t\ \text{Table}} = 0,9 M_{t\ \text{max}}$
ou
 $M_{t\ \text{max}}$ est le couple de serrage pour un vissage jusqu'à la limite élastique minimale garantie;
- les couples de serrage pour les boulons en acier résistant à la rouille et aux acides de classe de résistance 70 et 80 sont basés sur la limite élastique à 0,2 %.

^a Au-dessus du M16: 660 N/mm².

Tableau 20 – Exemples de boulonnerie

Boulon	Ecrou	Support de tête	Lubrifiant	Coefficient de friction μ_{tot}
Acier bruni ou phosphaté au zinc	Acier brillant	Acier usiné	Huile	0,12
A2/A4	A2/A4	A2/A4	S	0,12
A2/A4	Alliage d'aluminium	A2/A4	S	0,12
Acier galvanisé à chaud	Alliage d'aluminium	A2/A4	K	0,12
Acier galvanisé à chaud	A2/A4	A2/A4	K	0,12
Acier galvanisé à chaud	Acier galvanisé à chaud	A2/A4	K	0,10
CU5	CU5 ou cuivre	A2/A4	K, S	0,12
Légende				
A2/A4 acier résistant à la rouille et à l'acide groupes d'acier A2 et A4				
CU5 alliage cuivre-nickel				
S lubrifiant spécial				
K graisse de protection contre la corrosion				

Pour des coefficients de friction autres que $\mu_{tot} = 0,12$, les couples de serrage stipulés dans le Tableau 19 doivent être convertis selon les facteurs indiqués au Tableau 22.

Tableau 21 – Classe de résistance de la boulonnerie

Classe de résistance du boulon	Classe de résistance de l'écrou
4.6 ^a	5 ^b
5.6 ^a	5 ^b
8.8 ^a	8 ^b
A2/A4, classe de résistance 70	A2/A4 – 70
A2/A4, classe de résistance 80	A2/A4 – 80
CU5	CU5
(CuNi 1,5 Si F 59)	(CuNi 1,5 Si F 59)
^a Conformément à l'ISO 898-1.	
^b Conformément à l'ISO 898-2 et la EN 20898-2 en Europe.	

Tableau 22 – Facteurs de conversion pour les couples de serrage

Coefficient de friction μ_{tot}	Facteur de conversion MA
0,08	0,77
0,10	0,89
0,12	1,00
0,14	1,10
0,16	1,18
0,20	1,33
0,25	1,47
0,30	1,57

8.2.1.5 Essai de capacité de charge mécanique

8.2.1.5.1 Composants

Les accessoires d'isolateurs et d'armements sont essayés en traction ou en compression dans un banc de traction en utilisant des pièces d'attaches appropriées de façon que la charge soit aussi proche que possible de celle en service. Ces pièces ne doivent pas influencer le résultat de l'essai. Dans le cas de composants avec plusieurs points d'application des charges par côté, on doit s'assurer que les forces sont correctement réparties dans toutes les conditions pour représenter les conditions de charge réelles.

La charge appliquée aux échantillons en essai doit être augmentée de manière constante et régulière jusqu'à la force maximale F_{\max} . Le taux de variation, fonction de la section droite du conducteur, doit être compris entre 5 N/mm² par seconde et 10 N/mm² par seconde. Un diagramme force-allongement ou force-temps doit être établi en même temps. Le diagramme peut être réalisé par la machine d'essai elle-même ou avec des mesures faites au moyen d'instruments adéquats aux différents stades de charge. A partir du diagramme force-allongement, il doit être possible de déterminer la force dans la transition de la zone d'élasticité à la zone de plasticité.

Pour les composants, les caractéristiques suivantes doivent être déterminées:

- l'échantillon en essai doit être capable de supporter 1,33 fois la charge en service sans subir de déformation permanente;
- la force maximale F_{\max} de l'échantillon en essai;
- la nature et l'emplacement de la défaillance sur l'échantillon en essai.

Toutes les valeurs doivent être consignées dans des rapports d'essai ainsi que les données caractéristiques des échantillons en essai comme le matériau, les conditions matérielles, le type de mise en œuvre, le traitement de surface, etc. Les données d'essai doivent être utilisées pour déterminer la force nominale F_{nom} ou la force admissible en fonctionnement $F_{\text{perm.op}}$. La force maximale F_{\max} de l'échantillon en essai doit être égale ou supérieure à la force nominale F_{nom} exigée ou à celle spécifiée dans les normes appropriées ou les plans.

8.2.1.5.2 Pincés

Les accessoires pour conducteurs, câbles d'ancrage et fils sont assemblés avec les conducteurs concernés correspondant aux instructions de montage et insérés dans la machine d'essai en utilisant des éléments de serrage adéquats. Pour les manchons comprimés, on doit s'assurer que l'alignement intentionnel des brins des conducteurs n'est pas déformé (séparation des brins), entraînant une distribution inégale des contraintes dans le conducteur. Les boulons des pincés à serrage mécanique sont serrés au couple correspondant au 8.2.1.4, Tableau 19 ou aux données fournies par le fabricant.

La force de traction doit être augmentée jusqu'à 1,33 fois la force de fonctionnement autorisée $F_{\text{perm.op}}$ et maintenue pendant 1 min. Des marques doivent être appliquées sur le conducteur à la sortie de l'échantillon en essai afin de détecter un éventuel glissement. La force doit être augmentée de manière continue, la variation de la charge, en fonction de la section du conducteur, doit être de 5 N/mm² par seconde à 10 N/mm² par seconde et cela jusqu'à la force maximale F_{\max} ou jusqu'à la destruction du composant. Pour les pincés de suspension, la force maximale F_{\max} dans la direction de la force effective opérationnelle (force due au poids du conducteur et charges additionnelles) doit être déterminée.

Pour les accessoires des conducteurs, on doit déterminer les résultats suivants:

- la force de début de glissement du conducteur dans la pince;
- la force maximale F_{\max} de glissement continu ou de rupture du conducteur dans la zone d'influence de la pince;
- les défauts fonctionnels de la pince.

La rupture du premier brin des câbles toronnés doit être considérée comme une rupture du conducteur.

Pour les pinces de suspension, la force maximale F_{\max} dans la direction de la force efficace en fonctionnement (poids du conducteur et charges additionnelles) doit être déterminée.

8.2.1.6 Essais de cycle d'échauffement (essais électriques)

8.2.1.6.1 But de l'essai

Les essais de cycle d'échauffement sont réalisés pour déterminer le comportement électrique à long terme des connexions conductrices de courant.

Ces essais ne s'appliquent pas aux:

- bornes qui font partie intégrante d'un équipement,
- accessoires utilisés dans des éléments entièrement fermés (par exemple mécanisme motorisé),
- matériels d'installation et bornes de terre,
- pinces principalement utilisées à des fins mécaniques (par exemple griffes de pendule).

8.2.1.6.2 Connexions

8.2.1.6.2.1 Généralités

En ce qui concerne la résistance à la traction, les connexions transportant du courant peuvent être divisées en deux groupes principaux:

- connexions conçues pour résister à la traction;
- connexions qui ne sont pas conçues pour résister à la traction.

8.2.1.6.2.2 Echauffement des conducteurs

L'essai de cycle d'échauffement possède les températures de fonctionnement maximales autorisées suivantes:

- température avec courant permanent (se référer au Tableau 1);
- température lors d'un court-circuit selon la CEI 61284.

Si, dans des cas exceptionnels, une connexion est conçue pour des températures supérieures à celles définies ci-dessus, les températures d'essai doivent être modifiées en conséquence.

8.2.1.6.2.3 Subdivision à des fins d'essais

Comme toutes les utilisations possibles des connexions ne peuvent pas être clairement identifiées, deux classes de connexions sont définies pour les essais:

- Classe A: les connexions ne sont soumises qu'aux essais de cycle d'échauffement. Les connexions qui peuvent résister à la traction sont des connexions typiques de la Classe A;
- Classe B: les connexions sont soumises aux essais de cycle d'échauffement et à l'essai de courant de tenue aux courts-circuits. Les connexions qui ne peuvent pas résister à la traction sont des connexions typiques de la Classe B.

Dans le cas de connexions de Classe A, l'essai de courant de tenue au court-circuit n'est pas exigé puisque la conception mécanique est suffisamment robuste et ne nécessite pas cet essai.

8.2.1.6.3 Echantillons d'essai

Quatre échantillons de chaque type de connexion doivent être soumis aux essais. Les échantillons fournis pour les essais doivent être identiques aux produits disponibles dans le commerce.

8.2.1.6.4 Connecteurs avec diamètre variable

Les pinces pour la section de conducteur la plus grande doivent être utilisées pour les essais. Si des boulons de différents matériaux sont utilisés, les échantillons d'essai doivent être équipés de boulons ayant la conductivité la plus faible.

8.2.1.6.5 Préparation des échantillons

Les surfaces de contact des pièces et du conducteur doivent être préparées conformément aux instructions du fournisseur. Les pièces doivent être adaptées au type et à la taille du conducteur avec lequel elles seront utilisées, conformément aux instructions du fournisseur, et sans préparation particulière.

Il n'est pas autorisé de resserrer ou de comprimer les pièces pendant l'essai.

Les détails techniques suivants des échantillons d'essai et des conducteurs doivent être consignés avant de réaliser un essai:

- Pincés et accessoires:
 - numéro de fabricant, de catalogue ou de référence;
 - classe de connexion: A ou B;
 - procédures d'installation: préparation des surfaces de contact, graisse de contact (si spécifiée), détails des procédures d'installation et outils à utiliser.
- Conducteur:
 - spécification;
 - matériau;
 - taille et câblage.

8.2.1.6.6 Règles d'essai

8.2.1.6.6.1 Conditions d'essai

L'essai doit être réalisé en l'absence de courant d'air, à une température ambiante comprise entre 15 °C et 35 °C.

Le dispositif d'essai doit assurer une distance suffisante entre les connexions en essai et les autres connexions de façon que l'influence thermique mutuelle soit négligeable. L'installation d'essai doit être disposée de telle manière que l'air circule librement et que le refroidissement se fasse par convection naturelle.

Un éventuel refroidissement forcé ne doit être utilisé qu'après coupure du courant et son effet doit être uniforme sur toute l'installation.

Le dispositif d'essai doit être tel que les échantillons ne sont pas soumis à des contraintes mécaniques notoires (flexion, tension, pression, etc.) pendant l'essai électrique. Pour cette raison, il est recommandé que la position des échantillons ne soit pas changée pendant les essais.

Des conducteurs neufs doivent être utilisés pour les essais et pour les dispositifs avec de la tension mécanique sur les connexions. Il convient que la force de traction ne dépasse pas 20 % de la résistance nominale à la traction du conducteur principal.

8.2.1.6.6.2 Disposition des échantillons en essai et de la boucle d'essai

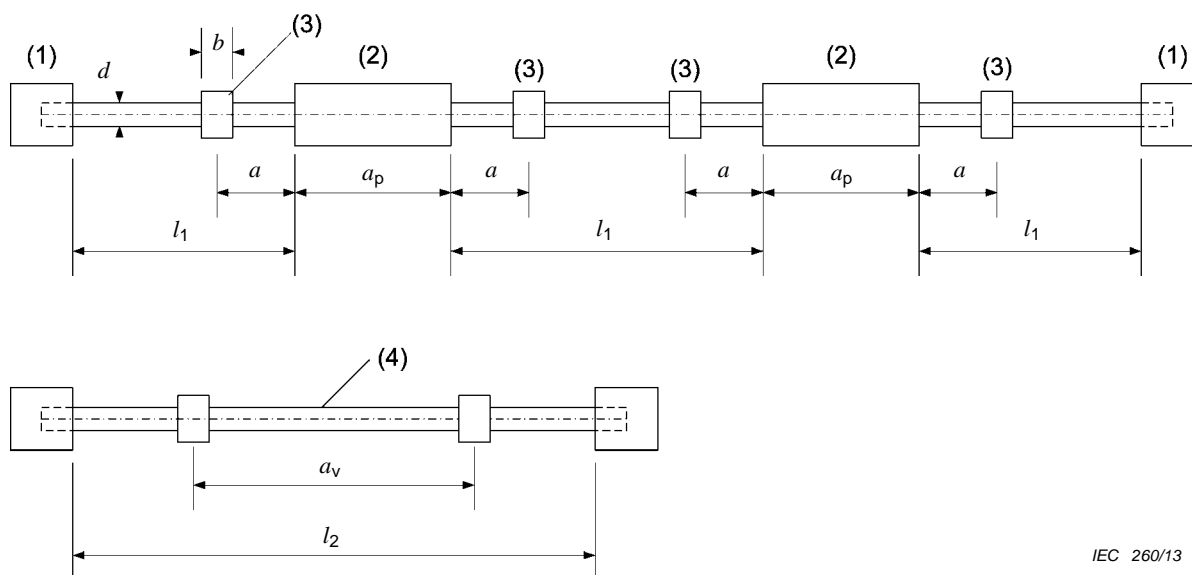
La disposition des échantillons d'essai pendant les essais électriques n'est pas imposée. Cependant, il est recommandé que les essais soient réalisés en position horizontale.

Des dispositions typiques de la boucle d'essais sont représentées à la Figure 5. D'autres dispositions figurent dans la CEI 61284, Annexes B et C.

Dans le cas de connexions en T, les deux chemins du courant doivent être soumis aux essais séparément.

8.2.1.6.6.3 Longueur libre de conducteur

Il convient que la longueur libre de conducteur l_1 (voir Figure 5) entre les pièces de serrage et les échantillons d'essai ainsi qu'entre les échantillons eux-mêmes et la longueur l_2 du conducteur de comparaison ne soient pas inférieures aux valeurs données dans le Tableau 23.



IEC 260/13

Légende

- (1) pièce de serrage
- (2) échantillon en essai
- (3) points de potentiel
- (4) conducteur témoin

a longueur de conducteur entre l'échantillon et le point de potentiel; $a \cong 15d$

a_p longueur de l'échantillon

a_v longueur du conducteur de comparaison entre les points de potentiel; $a_v \cong 30d+a$

b longueur des points de potentiel; $b \leq 2d$

d diamètre du conducteur

l_1 longueur minimale entre l'échantillon et la pièce de serrage et entre les échantillons selon le Tableau 23

l_2 longueur minimale du conducteur de comparaison selon le Tableau 23

Figure 5 – Description des dimensions et des longueurs minimales du conducteur

Tableau 23 – Longueurs minimales du conducteur

Diamètre du conducteur d mm	l_1 m	l_2 m
$d \leq 10$	0,5	2,0
$10 < d \leq 15$	0,8	2,0
$15 < d \leq 25$	1,2	2,0
$25 < d \leq 43$	1,5	2,0
$43 < d \leq 63$	2,0	2,5
$63 < d$	2,0	3,0

NOTE Le diamètre d'un conducteur profilé est le diamètre du cercle circonscrit au conducteur.

Dans le cas de conducteurs toronnés, on doit s'assurer que le courant est uniformément alimenté sur toute la section.

8.2.1.6.6.4 Conducteur témoin

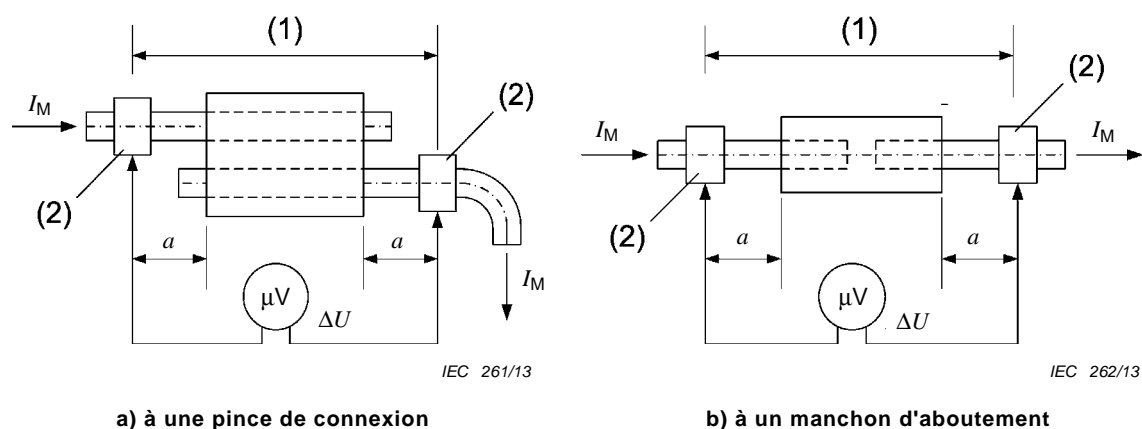
Pour comparer les valeurs de température et de résistance pendant les mesures de température et de résistance, le dispositif d'essai doit inclure un conducteur non coupé. Si une pince est utilisée pour connecter deux conducteurs de taille différente, le plus petit des deux doit être utilisé comme conducteur témoin.

8.2.1.6.6.5 Prises de mesure du potentiel

Dans le cas de conducteurs toronnés, les points de mesure de la tension ΔU sont toujours sur les compensateurs (Figure 5 à Figure 7). Dans le cas de conducteurs massifs, il convient que les prises de mesure soient aussi proches que possible de l'échantillon d'essai sans qu'il y ait contact avec l'échantillon. La tension est relevée soit avec des sondes de mesure, soit avec des connections fixes. Le point de prise de la tension doit être clairement marqué.

Pour un exemple de méthode de prise de tension pratique, se référer à la CEI 61284, Annexe G.

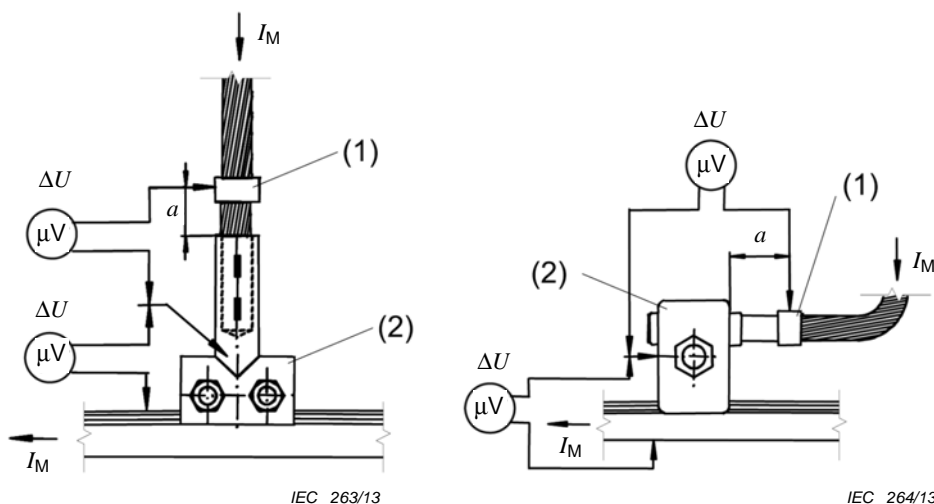
D'autres méthodes communément utilisées peuvent être employées.



Légende

- (1) distance de mesure
- (2) points de potentiel

Figure 6 – Points de mesure du potentiel à une pince de connexion et à un manchon d'aboutement



Légende

- (1) points de potentiel
- (2) échantillon en essai

Figure 7 – Points de mesure du potentiel à une borne d'alimentation en T

Les essais de cycle d'échauffement doivent être réalisés suivant la CEI 61284.

8.2.2 Essai sur prélèvement aléatoire

8.2.2.1 Nombre d'échantillons d'essai

Des essais sur prélèvement aléatoire ne doivent être réalisés que s'il y a une quantité suffisante de composants, habituellement plus de 100 composants identiques. Le nombre d'échantillons d'essai pour l'essai sur prélèvement aléatoire, *p*, doit être conforme aux formules suivantes.

$$p = 3 \quad \text{pour} \quad 100 < n \leq 500$$

$$p = 4 + \frac{n}{1000} \quad \text{pour} \quad 500 < n \leq 20\,000$$

$$p = 15 + \frac{0,5n}{1000} \quad \text{pour} \quad n > 20\,000$$

où

n est la taille du lot.

8.2.2.2 Choix des échantillons d'essai et essais répétés

Les échantillons d'essai sont choisis arbitrairement dans le lot. Si les échantillons réussissent l'essai sur prélèvement aléatoire, tout le lot doit alors être accepté. Si un échantillon d'essai ne réussit pas l'essai sur prélèvement aléatoire, l'essai doit être répété mais avec le double du nombre d'échantillons choisis dans le même lot. Si tous les nouveaux échantillons réussissent l'essai sur prélèvement aléatoire, tout le lot doit alors être accepté. Si un des échantillons d'essai ne réussit pas l'essai sur prélèvement aléatoire, tout le lot doit alors être rejeté. Les échantillons d'essai qui ont subi un essai sur prélèvement aléatoire ne doivent pas être utilisés pour d'autres essais ou en service.

8.2.2.3 Vérification des matériaux

Les essais sur échantillons doivent inclure la vérification des matériaux pour s'assurer qu'ils sont conformes aux documents contractuels. Cette vérification doit être normalement réalisée par l'examen de la documentation concernant les spécifications d'achat des matériaux, les certificats de conformité et des autres documentations relatives à la qualité.

8.2.2.4 Vérification des dimensions et contrôle visuel

Pour prendre en compte l'influence de variations de dimension et de résistance sur les caractéristiques mécaniques des composants, les dimensions qui influencent les caractéristiques selon le 8.2.1.3 sont déterminées à partir de tous les échantillons inspectés. Toutes les valeurs doivent être consignées dans le rapport d'essai.

Les dimensions critiques importantes pour un fonctionnement correct doivent être en accord avec les valeurs déterminées par les normes appropriées et les plans du fournisseur.

Les essais sur échantillons doivent inclure l'examen visuel pour s'assurer de la conformité des composants, et pour les points essentiels, avec les dessins de conception.

8.2.2.5 Essai fonctionnel

L'essai fonctionnel peut être réalisé selon le 8.2.1.4. Les composants ou les pinces doivent être assemblés selon les instructions de montage du fournisseur. Les boulons existants doivent être serrés à 1,1 fois le couple de serrage indiqué dans le Tableau 19. Les dimensions critiques pour un fonctionnement correct doivent être vérifiées.

Aucun défaut altérant le fonctionnement des composants ou des pinces n'est acceptable. Une déformation prévue dans la conception est acceptable si elle n'altère pas le fonctionnement.

8.2.2.6 Essai de traction

Se référer au 8.2.1.5 pour les exigences de l'essai de traction avec les différences suivantes:

Les échantillons d'essai sont chargés initialement à une vitesse de charge allant de 5 N/mm² par seconde jusqu'à 10 N/mm² par seconde, selon la section du conducteur, de manière constante et régulière jusqu'à atteindre la force de fonctionnement autorisée $F_{perm.op}$ multipliée par un facteur assigné déterminé, et la déformation subsistante doit être déterminée. Cela doit être réalisé, soit sur un diagramme force-distance, soit en contrôlant les dimensions de la connexion après relâchement et démontage des échantillons d'essai. L'échantillon d'essai doit alors être chargé à nouveau avec la même vitesse de chargement jusqu'à la force maximale F_{max} ou jusqu'à la défaillance du composant.

8.2.2.7 Evaluation de l'essai pour les composants

Toutes les valeurs d'essai doivent être enregistrées dans le rapport d'essai et évaluées statistiquement.

Dans le cas d'accessoires d'isolateurs et d'armements, les caractéristiques suivantes doivent être déterminées:

- le composant ne doit pas subir de déformation permanente qui altère son fonctionnement après avoir appliqué une charge de 1,33 fois la charge de fonctionnement;
- la force maximale F_{max} ;
- la nature et la position de la défaillance de l'échantillon d'essai, par exemple rupture, déformation, etc.

La force à laquelle une déformation altère le fonctionnement doit être supérieure à la force de fonctionnement $F_{perm.op}$ autorisée, exigée pour le composant. La force maximale F_{max} de

l'échantillon soumis aux essais doit être supérieure ou égale à la force nominale exigée F_{nom} ou à celle spécifiée dans les normes appropriées ou les dessins.

8.2.2.8 Evaluation de l'essai pour les pinces

Se référer au 8.2.1.5.2 pour l'évaluation, avec l'aide de l'alinéa suivant.

La force à laquelle une déformation permanente se produit, qui affecte le bon fonctionnement de l'échantillon d'essai, doit être supérieure à 1,33 fois la force de fonctionnement autorisée $F_{perm. op}$ exigée pour le composant correspondant. La force maximale F_{max} de l'échantillon d'essai doit être supérieure ou égale à la force nominale exigée F_{nom} ou à celle déterminée dans les normes appropriées ou les dessins.

8.2.3 Essai individuel de série

Lorsque cela est spécifié, chaque composant d'une série en production doit être soumis à un essai individuel de série.

Les essais individuels de série peuvent inclure un niveau spécifié de vérification de matériau (y compris les essais) lorsque cela est exigé par le plan de qualité contractuel.

Pour les essais de charge, les échantillons d'essai doivent être chargés dans des conditions de fonctionnement proches de la normale et chargés avec la force pour l'essai individuel de série. Aucune fissure initiale ni rupture ne doit se produire sur les échantillons soumis aux essais une fois que la force de l'essai individuel de série est atteinte.

8.3 Fils de contact

En Europe, se référer à la EN 50149 et en Chine au TB/T 2809-2005 pour les exigences d'essai des fils de contact.

8.4 Autres conducteurs

Les fils ou les conducteurs doivent être conformes aux Normes Internationales appropriées ou, si elles ne sont pas disponibles, aux Normes Européennes en Europe ou aux Normes Nationales dans les pays non-européens. Les documents suivants sont habituellement appliqués en Europe et dans d'autres pays:

- EN 50182;
- EN 50183;
- EN 50189;
- EN 50326;
- EN 50345;
- CEI 60889;
- CEI 61089;
- CEI 61232.

En Chine, les documents suivants sont habituellement appliqués:

- GB/T 1179-2008
- TB/T 3111-2005

Il n'y a actuellement aucune Norme Internationale ou Européenne pour les conducteurs en cuivre et en bronze. Il convient de faire référence aux Normes Nationales pour ces types de conducteur.

8.5 Equipements tendeurs

8.5.1 Essais exigés

Seuls les essais de type sont exigés pour les équipements tendeurs.

8.5.2 Essais de type des équipements tendeurs avec contrepoids

8.5.2.1 Essai de traction

L'équipement tendeur doit être soumis aux essais conformément aux exigences énoncées en 7.5.

8.5.2.2 Essai dynamique

Lorsque cela s'applique, l'essai du dispositif anti-chute consiste en une rupture simulée du conducteur avec une tension mécanique spécifiée dans les conditions de laboratoire déterminées par le client.

8.5.2.3 Essai d'efficacité

Conformément à l'essai représenté à la Figure 8, l'efficacité mécanique de l'équipement tendeur doit être déterminée. L'essai doit être réalisé en tenant compte des considérations suivantes:

- les charges de vent et de givre ne doivent pas être prises en compte;
- au moins quatre essais doivent être effectués en quatre endroits répartis régulièrement sur un tour des roues ou sur un quart de la plage entière de mouvement, d'abord dans une direction puis dans l'autre direction.

L'écart de la tension du/des conducteur(s) doit être consigné et être conforme aux valeurs fournies par le constructeur.

L'efficacité peut être déterminée par la formule suivante:

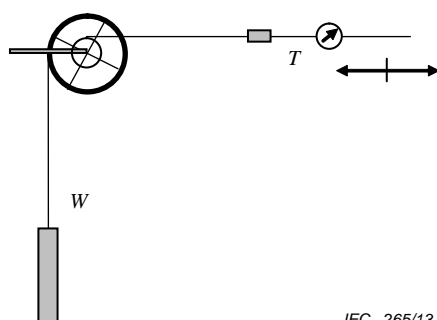
$$E = \frac{T}{W \times r} \quad (21)$$

où

T est la tension mécanique du conducteur exprimée en Newton (N) (voir Figure 8);

W est la charge du contrepoids exprimée en Newton (N) (voir Figure 8);

r est le rapport de réduction de l'équipement tendeur.



IEC 265/13

Figure 8 – Exemple d'un essai de mesure d'un équipement tendeur

Quand un essai sur site a été réalisé en coopération avec le client sur une ligne aérienne de contact comparable, les résultats de l'essai sur site peuvent remplacer l'essai d'efficacité ci-dessus. L'essai sur site doit être réalisé de façon continue sur une durée minimale d'un an.

8.5.3 Essais de type des équipements tendeurs sans contrepoids

8.5.3.1 Essais de traction

Se référer au 8.5.2.1 pour les essais de traction.

8.5.3.2 Essais d'efficacité

L'efficacité mécanique de l'équipement tendeur doit être déterminée. Afin de réaliser cet essai, les hypothèses suivantes peuvent être faites:

- les charges de vent et de givre peuvent ne être pas prises en compte;
- l'efficacité doit être mesurée en quatre endroits répartis régulièrement sur la plage entière de mouvement, d'abord dans une direction, puis dans l'autre direction;
- s'il est prévu d'utiliser l'équipement tendeur dans des conditions de givre, l'essai d'efficacité doit être réalisé dans ces mêmes conditions.

L'écart de la tension mécanique du conducteur ou du/des fil(s) doit demeurer dans les valeurs spécifiées pour toute la gamme de températures exigées.

Quand un essai sur site a été réalisé en coopération avec le client sur une ligne aérienne de contact comparable, les résultats de l'essai sur site peuvent remplacer l'essai d'efficacité ci-dessus. L'essai sur site doit être réalisé de façon continue sur une durée minimale d'un an.

8.6 Points médians mécaniques

Les procédures d'essai pour tous fils, pinces, pièces d'extrémité et isolateurs qui constituent l'assemblage mécanique du point médian doivent être conformes aux exigences particulières appropriées relatives au composant indiquées à l'Article 8 de la présente norme.

8.7 Pendules

8.7.1 Essais exigés

Seuls les essais de type sont exigés pour les pendules.

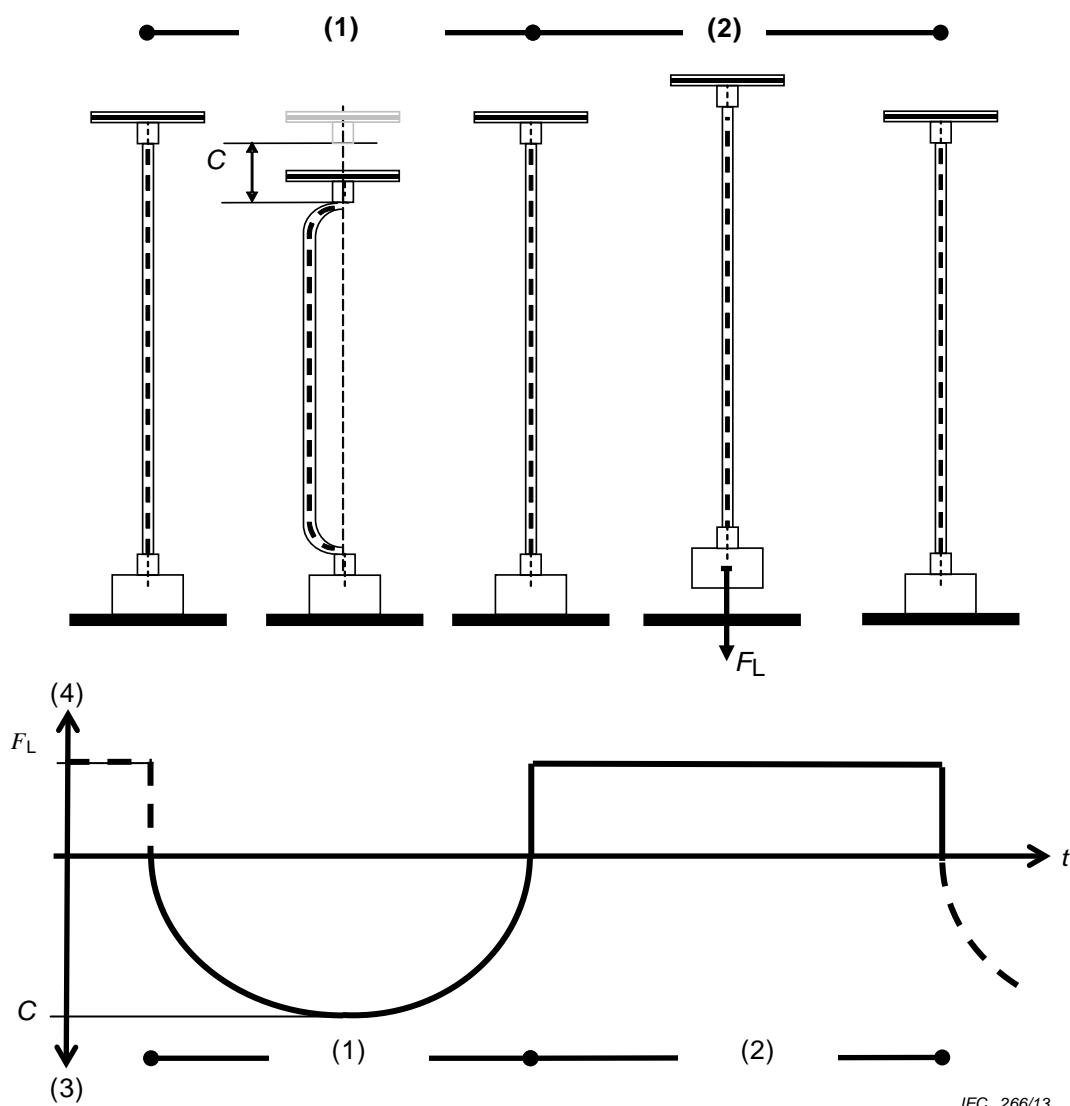
8.7.2 Essai de fatigue mécanique

Le présent essai consiste en un cycle de charge et compression alterné représenté à la Figure 9. Les pendules doivent être soumis aux essais avec leurs dispositifs spécifiques de serrage. Les paramètres d'essai doivent être définis dans la plage indiquée ci-dessous en prenant en compte les conditions d'exploitation et les différents types de conception de ligne de contact.

L'amplitude de la compression doit être spécifiée entre 20 mm et 200 mm et la force interne au pendule doit être spécifiée entre 100 N et 400 N.

On doit réaliser au moins 2 000 000 cycles à une fréquence comprise entre 0,5 Hz et 10 Hz. Le pendule ne doit pas se rompre avant que le nombre de cycles spécifié n'ait été dépassé.

Pour les applications spéciales, comme un faible encombrement et des endroits où le soulèvement est important, la longueur totale et la dimension pour la compression doivent être reconsidérées.



IEC 266/13

Légende

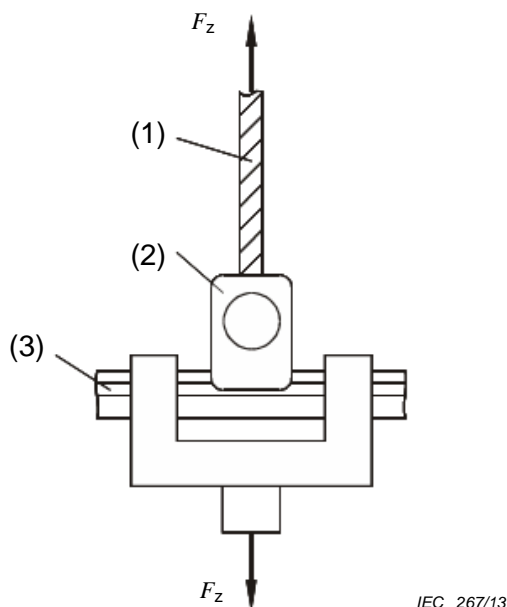
- (1) ½ cycle – pendule en compression
- (2) ½ cycle – pendule soumis à la force interne
- (3) compression
- (4) force
- C amplitude de compression
- F_L force interne

Figure 9 – Exemple d'un cycle d'essai de pendule**8.7.3 Essais mécaniques**

L'attache du pendule doit être installée sur le fil correspondant selon les instructions d'installation des fournisseurs.

Pour les attaches de fils de contact et de câbles porteurs longitudinaux, des essais séparés doivent être réalisés pour chaque dimension de gorge de fil de contact et pour chaque diamètre de câbles porteurs longitudinaux. Si l'attache est conçue pour une gamme variable de gorges de fil de contact ou de diamètres de câbles porteurs longitudinaux, seules les dimensions les plus petites et les plus grandes doivent être soumises aux essais.

Un exemple de montage d'essai de traction d'un pendule est représenté à la Figure 10.



Légende

- (1) Fil du pendule
- (2) Griffes du pendule
- (3) Fil de contact

Figure 10 – Exemple d'un montage d'essai de traction de pendule

La pince ne doit pas être arrachée avant qu'une force de 3 kN ne soit atteinte.

8.8 Pincés, jonctions et autres accessoires

Se référer au 8.2.

8.9 Raccords électriques

8.9.1 Généralités

Les raccords électriques comprennent les câbles et les pincés. Seuls les essais de type sont exigés pour les raccords électriques.

L'essai mécanique des pincés doit être conforme aux essais applicables du 8.2.1.5. L'essai électrique du raccord doit être conforme au 8.2.1.6.

De plus, les essais du 8.9.2 doivent être réalisés.

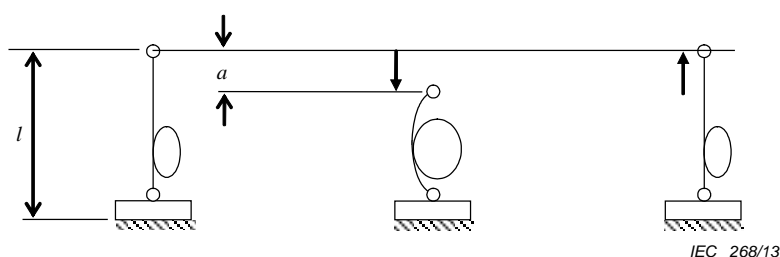
8.9.2 Essais de fatigue mécanique

Cet essai est nécessaire seulement pour les raccords électriques utilisés sur les lignes où la vitesse est égale ou supérieure à 160 km/h et s'ils sont utilisés sur le fil de contact. Au moins trois raccords électriques complets doivent être soumis aux essais. Les paramètres d'essai doivent être définis dans la plage indiquée ci-dessous en prenant en compte les conditions d'exploitation et les différents types de conception de ligne de contact.

Les paramètres suivants doivent être appliqués:

- la longueur minimale spécifiée (l) du raccord;
- l'amplitude (a) du mouvement doit aller jusqu'à 100 mm;
- la fréquence doit varier de 0,5 Hz à 10 Hz;
- le nombre minimum de cycles doit être de 2 000 000.

Un exemple de cycle d'essai est représenté à la Figure 11. Le raccord électrique ne doit pas se rompre avant que le nombre de cycles spécifié n'ait été dépassé.



Légende

- l longueur minimale spécifiée
 a amplitude

Figure 11 – Exemple d'un cycle d'essai d'un raccord électrique

8.10 Isolateurs

Les essais doivent être réalisés conformément aux normes suivantes.

Chaîne d'isolateurs ou isolateurs en céramique ou en verre:

- CEI 60383 (toutes les parties);
- CEI 60672-2;
- CEI/TR 61245 (courant continu);
- CEI 61325 (courant continu).

Isolateurs en matière composite:

- CEI 61109 (isolateurs en traction);
- CEI 61952 (isolateurs en flexion).

Isolateurs supports:

- CEI 60168;
- CEI 60660.

Selon les cas, le client et le fournisseur peuvent se mettre d'accord sur des essais particuliers.

8.11 Dispositifs de sectionnement

8.11.1 Essais de type

8.11.1.1 Généralités

Des certifications par un essai de type doivent être fournies pour la conception des dispositifs de sectionnement pour la vérification des paramètres électriques et mécaniques. Les normes utilisées doivent être citées. Les exigences d'essai et les essais de type doivent vérifier l'aptitude des composants. Les spécifications concernant la vitesse, le poids, les dimensions,

les distances d'isolement, les lignes de fuite, la tension nominale, le courant de court-circuit, la charge de fonctionnement autorisée et la charge de rupture doivent être citées.

Le corps isolant du dispositif de sectionnement doit être soumis aux essais séparément, conformément au 8.10. Les pinces et les pièces du dispositif de sectionnement doivent être soumises aux essais conformément au 8.2.

Les essais suivants doivent être réalisés sur la totalité de l'assemblage du dispositif de sectionnement.

8.11.1.2 Essais mécaniques

Les essais mécaniques doivent être réalisés sur un dispositif de sectionnement monté sur une longueur du fil de contact auquel la charge sera appliquée.

Le dispositif de sectionnement doit être fixé à une machine d'essai en traction et la charge de traction opérationnelle spécifiée pour le fil de contact doit lui être appliquée. Le dispositif doit être ajusté de façon que les patins soient dans leurs conditions de fonctionnement. La charge doit être augmentée à une vitesse de 1 kN/s jusqu'à 1,33 fois la charge en service du fil de contact et être maintenue à cette valeur pendant 1 min. Ensuite, la charge doit être réduite à la charge de traction en service du fil de contact. Aucune déformation permanente ayant une influence négative sur le fonctionnement n'est permise.

La charge de traction doit alors être augmentée à une vitesse de 1 kN/s jusqu'à la rupture. La rupture doit se produire sur le fil de contact.

8.11.1.3 Essais électriques

Si cela est exigé par l'acheteur, le dispositif de sectionnement, ainsi que le montage de suspension, doivent être soumis aux essais électriques en laboratoire ou dans les conditions de fonctionnement. Il n'est pas nécessaire d'appliquer la pleine tension mécanique au dispositif.

Pour établir la capacité d'isolement du dispositif de sectionnement, un essai à la tension de choc et un essai à la fréquence industrielle dans des conditions humides et sèches doivent être réalisés conformément à la CEI 60383 (toutes les parties). Cet essai peut également servir à confirmer que le point d'amorçage du dispositif de sectionnement est bien celui prévu lors de la conception.

De plus, un essai d'extinction d'arc doit être réalisé pour s'assurer que le dispositif de sectionnement peut supporter les niveaux d'arc prévus sans dommage. Le dispositif de sectionnement doit être ponté par un fil à l'endroit même où les arcs sont susceptibles de se former.

Le courant doit être limité au courant maximal en service du dispositif de sectionnement, tel que défini par le fournisseur. Une tension doit être appliquée au dispositif de sectionnement. L'amorçage doit se produire sur les parties prévues et l'arc doit être éteint par le dispositif. Le contournement ne doit pas influencer l'intégrité mécanique de l'isolateur de section.

Un essai de court-circuit doit être également réalisé pour s'assurer que le dispositif de sectionnement peut supporter le flux du courant de court-circuit sans dommage. Un courant de court-circuit, d'une durée et d'une amplitude définies par le fabricant, doit être appliqué. Les effets du court-circuit ne doivent pas influencer l'intégrité mécanique de l'isolateur de la section.

8.11.2 Essai sur site

L'essai électrique peut être remplacé par des essais sur site. Ils doivent être réalisés selon accord entre le client et le fournisseur.

Si le client le spécifie, d'autres essais doivent être réalisés, comme un essai sur site en service. Si un essai sur site est réalisé, il convient que l'essai dure un an.

8.11.3 Essais sur prélèvement

Au moins 2 % des échantillons de chaque lot doivent être soumis aux essais suivants:

- examen visuel pour vérifier le marquage d'identification;
- vérification des dimensions et du poids, indiqués sur les dessins du fournisseur.

8.11.4 Essais individuels de série

Tous les isolateurs de section doivent subir un examen visuel individuel.

8.12 Sectionneurs et commandes

Les exigences d'essais de type et individuels de série des sectionneurs, commandes et liaisons doivent être conformes aux spécifications suivantes: la CEI 61992-4 pour les sectionneurs à courant continu et la CEI 62505-2 pour les sectionneurs à courant alternatif (conjointement avec la CEI 62271-103 et la CEI 62271-102).

- a) La CEI 62505-2 s'applique aux sectionneurs unipolaires monophasés en courant alternatif, aux sectionneurs de terre et commutateurs (interrupteur-sectionneurs et commutateurs d'usage général) conçus pour des installations fixes intérieures ou extérieures fonctionnant à des fréquences de 16,7 Hz et 50 Hz dont le niveau d'isolement assigné du système de traction est supérieur à 1 kV et inférieur à 52 kV.

La CEI 62505-2 s'applique également aux sectionneurs bipolaires, aux sectionneurs de terre et commutateurs (interrupteur-sectionneurs et commutateurs d'usage général) reliés de la manière suivante:

- soit un pôle alimentant la ligne de contact de la voie, l'autre alimentant le câble d'alimentation parallèle à cette même voie et utilisé avec des autotransformateurs pour amplifier la tension de la voie à intervalles réguliers
- soit les deux pôles du sectionneur, sectionneur de terre ou commutateur (interrupteur-sectionneur ou commutateurs d'usage général) sont reliés en série pour fournir une isolation sécurisée (c'est-à-dire deux coupures en série).

- b) La CEI 61992-4 s'applique aux sectionneurs, interrupteurs-sectionneurs et sectionneurs de terre extérieurs en courant continu pour une utilisation sur les installations fixes extérieures des systèmes de traction.

Les essais doivent être adaptés au courant assigné et à la tension assignée du système. Selon les cas, le client et le fournisseur peuvent se mettre d'accord sur des essais particuliers.

Pour les essais individuels de série, le sectionneur et le mécanisme de commande doivent être soumis ensemble aux essais sur site.

8.13 Dispositifs de protection contre les surtensions

Les dispositifs de protection contre les surtensions doivent être soumis aux essais conformément aux CEI 61992-5, CEI 62497-2, CEI 60099-1 et CEI 60099-4.

8.14 Composants spécifiques aux trolleybus

Les essais individuels de série doivent être réalisés en laboratoire dans les conditions normales d'exploitation. En alternative, un accord spécifique entre le fournisseur et le client peut permettre de réaliser des essais en service.

Tous les aiguillages doivent être soumis à des essais individuels de série, conformément à la CEI 61992-1.

Les essais électriques, comme les essais de tenue à la fréquence industrielle à sec et sous pluie, doivent être réalisés conformément à la CEI 61992-1 et à la CEI 60529.

Les essais de type des aiguillages, comme les essais de foudre, doivent être réalisés conformément à la CEI 61992-1.

8.15 Essai de système

8.15.1 Démonstration de conformité

Une ligne aérienne de contact «conforme à l'exécution» et sa conception doivent être conformes aux exigences de la présente norme, si les conditions suivantes sont remplies.

- Le système est conçu conformément aux exigences de conception de l'Article 5. Une simulation informatique et/ou des essais en ligne en vraie grandeur peuvent être prescrits.
- Les essais en ligne en vraie grandeur représentent les moyens les plus adéquats de démontrer qu'une ligne aérienne de contact nouvellement installée satisfait aux exigences de qualité de la présente norme à une vitesse de circulation donnée. Les essais en ligne en vraie grandeur doivent être réalisés sur des équipements en place au moyen de véhicules et de pantographes instrumentés. L'instrumentation doit avoir un effet minimal sur la performance du pantographe et doit être conforme à la procédure de la EN 50317 en Europe.
- Dans le cas de systèmes à courant continu, les effets du chauffage des trains à l'arrêt sur les lignes aériennes de contact doivent être vérifiés en utilisant la méthodologie spécifiée dans la CEI 62486; l'échauffement du fil de contact doit être mesuré.
- Des simulations informatiques sont appropriées pour démontrer le comportement prévisible en matière de captage de courant, particulièrement en comparant les résultats avec des lignes existantes ou avec d'autres études. Le programme de simulation informatique, conformément aux procédures de la EN 50318 en Europe, doit être validé par rapport à des résultats d'essais physiques.
- Les composants du système sont conçus conformément aux exigences de l'Article 7 et soumis aux essais (essai de type et essai individuel de série) prescrits par les Normes Européennes énumérées dans la présente norme.
- Les structures sont conçues et calculées conformément aux exigences de l'Article 6.
NOTE Voir la CEI 60652 pour les méthodes d'essai des structures.
- Les paramètres mécaniques et électriques des lignes satisfont aux exigences électriques, ainsi qu'aux exigences statiques (essai de validation des dimensions) et aux exigences dynamiques (essais de validation dynamique) de conception comprises dans les tolérances de conception.

La conformité d'une ligne aérienne de contact n'a besoin d'être démontrée qu'une seule fois. Quand un système a fait ses preuves par ailleurs, le client peut considérer que c'est une démonstration acceptable de sa conformité.

8.15.2 Essais de recette

La recette de la ligne aérienne de contact doit fournir l'assurance que les exigences de conception du système de ligne aérienne de contact sont bien reflétées dans l'installation finale. Ces exigences doivent comprendre les points suivants:

- la vérification que la ligne aérienne de contact est construite dans les limites des tolérances indiquées;
- un contrôle visuel et physique, à partir du sol et d'une draine de surveillance; par exemple de l'isolation, de la position des consoles en fonction de la température;
- la vérification par mesurement que les distances mécaniques et d'isolement électrique sont conformes à la conception spécifiée.

8.15.3 Essais de mise en service

L'intégrité électrique de la ligne aérienne de contact doit être établie une fois que toutes les exigences précédentes ont été satisfaites. Les essais de mise en service doivent avoir pour but de s'assurer que toutes les configurations, en ce qui concerne le sectionnement électrique, sont en conformité avec les exigences de conception et doivent inclure:

- une vérification de la conformité du système avec la CEI 62128 (toutes les parties);
- que la tension nominale est appliquée à la ligne aérienne de contact conformément aux règlements nationaux;
- la conformité aux règlements nationaux de l'essai de contrôle de section électrique.

Les essais dynamiques doivent être spécifiés par le client et dépendront du type et de l'échelle du projet. La validation dynamique doit être entreprise pour s'assurer de la conformité en ce qui concerne les critères de performance définis au 5.2.

9 Documentation minimale

9.1 Généralités

Il convient de fournir la documentation décrite du 9.2 au 9.5. Une documentation supplémentaire peut être spécifiée par le client.

9.2 Spécification du système

Les spécifications du système contiennent l'étude fondamentale et les données d'étude fondamentales du système, décrites respectivement à l'Article 4 et à l'Article 5. Elles doivent être produites conformément aux spécifications du client ou, si les spécifications du client ne sont pas disponibles, comme une étude système distincte.

9.3 Etude de base

L'étude de base est fondée sur la spécification du système et comprend tous les schémas correspondants du système, de l'installation, de l'assemblage et des composants.

9.4 Etude d'installation

L'étude d'installation est l'application des dispositions de l'étude de base aux caractéristiques particulières de la ligne de chemin de fer. Le résultat est un ensemble de plans/documents, (par exemple: plans d'agencement, sections, devis quantitatif, etc.) qui décrit et illustre comment le système est assemblé.

9.5 Installation et maintenance

Sur demande du client, il convient que l'entrepreneur fournisse le document d'installation générale et de maintenance qui précise les contrôles de maintenance de routine, les instructions, les traitements et les périodicités associées.

Quand une installation ou une maintenance spécifique est exigée, toute la documentation nécessaire doit être fournie par le client.

Annexe A (informative)

Courant admissible des conducteurs

Les paramètres ci-après affectent le courant admissible d'un conducteur:

- coefficient de transmission de la chaleur α ;
- vitesse du vent v_w ;
- température finale admissible (voir Tableau 1);
- chaleur appliquée extérieurement P_{prim} .

Dans le Tableau A.1, les courants admissibles à des températures ambiantes différentes sont calculés selon 5.1.2 avec une vitesse du vent de 1 m/s et un échauffement dû à un apport solaire de 1 000 W/m².

Tableau A.1 – Courant permanent admissible des conducteurs et des fils de contact

Type de fil de contact et de conducteur	Température du conducteur °C	Courant admissible en fonction de la température ambiante A							
		–30 °C	–20 °C	–10 °C	0 °C	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C
CuMg AC-100	80	624	593	561	527	490	450	407	358
Cu AC-100	70	751	711	666	619	569	513	451	378
CuAg AC-100	80	778	740	700	657	611	562	507	446
Cu AC-107	70	782	739	693	645	592	534	469	393
CuMg AC-120	80	702	668	631	593	551	507	457	402
Cu AC-120	70	845	798	749	697	640	577	506	424
CuAg AC-120	80	876	833	787	739	688	632	570	501
Cu AC-150	70	976	922	865	803	738	665	583	487
BzII 50	80	404	385	364	342	318	293	265	233
BzII 70	80	487	463	438	411	383	352	318	280
BzII 120	80	704	670	633	594	553	508	458	402
Cu 95	70	734	693	651	605	556	501	440	369
Cu 120	70	848	801	752	699	642	579	508	425
Al 185	80	910	865	817	767	713	654	590	517
Al 240	80	1 098	1 043	986	925	859	788	710	621

La température maximale admissible limite également le courant admissible d'un conducteur. Lors du calcul du courant admissible, il convient de tenir compte des paramètres suivants:

- température maximale du conducteur et des fils de contact (voir Tableau 1);
- vitesse du vent;
- température ambiante;
- échauffement dû à l'apport solaire;
- échauffement dû au courant.

Annexe B (informative)

Détails de la structure

Il convient que l'épaisseur des éléments porteurs en acier ne soit pas inférieure à 4 mm. L'épaisseur des sections creuses et des tubes en acier (à l'exclusion des bras de rappel) peut être réduite à 3 mm si une protection efficace contre la corrosion est assurée. Ces dimensions minimales s'appliquent également aux éléments en aluminium ou en alliage d'aluminium. Des épaisseurs plus faibles peuvent être utilisées pour les bras de rappel. Il convient que l'excentricité des raccordements de membrures aux nœuds reste la plus faible possible.

Le Tableau B.1 recommande les dimensions des connexions et les distances aux bords des pièces de raccordement. Il convient que les entre-axes minimaux des perçages ne soient pas inférieurs à 2,5 fois le diamètre des trous. Il convient que les distances aux bords, perpendiculaires à la direction des forces, ne soient pas inférieures à 1,2 fois le diamètre des perçages.

**Tableau B.1 – Dimensions recommandées des connexions et distances
aux bords des pièces de raccordements**

Dimensions en millimètres

Dimension du boulon		M12	M16	M20	M24	M27	M30
Diamètre maximal de perçage	Boulons hexagonaux et axes:	13	18	22	26	30	33
Largeur minimale des cornières		35	50	60	70	75	80
Distance minimale au bord dans le sens de la force	1) tous types de pièces	20	25	30	40	45	50
	2) pièces sous traction	25	35	40	50	55	65

Les exigences de conception des structures en acier massif sont spécifiées dans l'ISO 10721 (toutes les parties) et la EN 1993-1-1 en Europe. Les joints coulissants peuvent ne pas être vérifiés par le calcul si les exigences spécifiées dans la EN 50341-1:2001, 7.4.6.3 en Europe sont remplies.

Il convient d'apporter toute la considération nécessaire à la définition de l'épaisseur limite de matière pour le perçage ou le poinçonnage des trous des rivets et des boulons. Il convient de prendre en considération l'effet réel de la ductilité du matériau. Les qualités d'acier spécifiées à l'Article 6 sont suffisamment ductiles et peuvent donc être poinçonnées. Cependant, ceci ne s'applique pas aux trous de rivets et de boulons dans les profilés et plaques de plus de 12 mm d'épaisseur. Il convient d'assurer par un contrôle permanent que des poinçons affûtés et des outils de découpage convenables sont utilisés pour la fabrication. Il convient que les membrures de la structure en tension mécanique permanente ne soient pas poinçonnées.

Les structures des lignes aériennes de contact n'ont pas besoin de passerelles spéciales pour grimper et accéder aux postes de travail. S'il le faut, une passerelle adéquate peut être spécifiée par le cahier des charges du projet ou par l'exploitant. Il convient que les éléments des passerelles soient conçus pour répondre aux exigences du 6.2.8.

Il convient de faire référence à la CEI 62128-1 concernant la nécessité de dispositifs anti-escalade.

Il est normal de fournir les structures en béton avec les inserts et autres éléments de fixation des consoles et des équipements tendeurs. L'armature ou des barres supplémentaires sont nécessaires pour la mise à la terre. L'armature peut être précontrainte ou non. La ventilation des structures tubulaires closes en acier ou en béton est nécessaire afin d'éviter la corrosion causée par la condensation d'eau à l'intérieur de la structure.

Annexe C (informative)

Reconnaissance géotechnique et caractérisation des sols

Avant de déterminer le type de fondation, sa conception et ses dimensions, il faut connaître de façon suffisamment détaillée la structure du sol jusqu'à une profondeur au moins égale à la largeur réelle de la fondation sous la face inférieure ou plus profonde que la pointe du pieu. Il est également nécessaire de connaître les paramètres géotechniques. Par conséquent, des reconnaissances de sol sont exigées pour réaliser la base établissant les paramètres géotechniques du sol. On peut également utiliser d'autres paramètres et d'autres procédures approuvés.

L'information de base exigée pour l'étude géotechnique des fondations avec pieux suit les dispositions de la EN 1997-1:2004, Articles 2 et 3 en Europe. Il convient que la planification des investigations du site suive également les dispositions de la EN 1997-1 en Europe en tenant compte du type de fondations prévues.

Il convient de porter une attention particulière lors de l'enquête de site afin de trouver:

- les données géométriques de la surface en tenant compte de la pente de remblai et de la position de la voie;
- le niveau des interfaces entre les couches de remplissage et les couches naturelles à une profondeur d'au moins deux fois la largeur de la fondation sous le niveau de fondation prévu. Dans le cas de sols meubles compressibles générant des affaissements de remblai, la profondeur d'investigation peut être accrue;
- le niveau de la nappe phréatique et ses variations;
- les types de sol, leur résistance et leurs propriétés de déformation;
- les changements des conditions du terrain le long de la voie de chemin de fer;
- les conditions spéciales qui prennent en compte l'installation de la fondation (sols très tendres, surface rocheuse, éboulis, etc.).

Il convient d'évaluer les propriétés géotechniques pour l'étude, conformément aux lignes directrices de la EN 1997-2 en Europe. Il convient de prêter une attention particulière lors des évaluations des propriétés de déformation des couches supérieures de remplissage du remblai. Il en est de même lors des investigations sur les matériaux excavés puis remblayés, qu'ils soient compactés ou non.

On propose des essais de pénétration au carottier ou de pénétration dynamique pour estimer les paramètres de base et de composition des couches. On propose des essais de pénétration au carottier pour les sols à grains fins et des essais de pénétration dynamique pour les sols à gros grains. L'échantillonnage et des études subséquentes en laboratoire sont proposés pour un nombre sélectionné de points représentatifs pour l'identification des sols et la détermination des caractéristiques du matériau de remplissage existant. Des mesures in situ à l'aide d'un pressiomètre dans les sols à remblai profond et sans cohésion et un carottage dans les sols cohésifs sont recommandées.

Il convient de réaliser des études géotechniques et des essais en laboratoire selon l'ISO 22475-1, l'ISO 22476-2, l'ISO 22476-3 et l'ISO/TS 17892 (toutes les parties).

Il convient de prendre également en compte l'étude sur site des conditions environnementales du site comme base d'estimation de la pérennité des fondations. Voir la EN 1997-1:2004, 2.3 en Europe.

Pour les fondations installées par excavation et remblai, il convient de prélever des échantillons représentatifs du matériau de remblai et de les étudier en tenant compte des dispositions de la EN 1997-1:2004, Article 5 en Europe.

Si le matériau de remblai est du béton, il convient de suivre les dispositions de la EN 1992-1-1 en Europe.

Il convient de compiler les résultats des études géotechniques dans un Rapport d'Etude du Sol conformément aux dispositions de la EN 1997-1:2004, 3.4 en Europe. Il convient que l'identification et la classification du sol et des roches suivent les principes des ISO 14688-1, ISO 14688-2 et ISO 14689-1.

Lorsqu'aucune autre information n'est disponible, les caractéristiques géotechniques du Tableau C.1 peuvent être utilisées pour la conception des fondations quand leur validité a été vérifiée.

Tableau C.1 – Caractéristiques géotechniques de quelques sols standards selon la EN 50341-1:2001, Annexe N pour l'Europe

Sol	γ^a kN/m ³	γ^b kN/m ³	ϕ^c Degree	c^d kN/m ²	c_u^e kN/m ²
Gravier, calibre régulier	18	10	35	0	-
Gravier, sableux	20	11	35	0	-
Gravier calibré avec cailloux, blocs	21	11	37,5	0	-
Sable, meuble	17	9	30	0	-
Sable, densité moyenne	18	10	32,5	0	-
Sable, dense	19	11	35	0	-
Limon sableux, mou	19	9	25	2,5	15
Limon sableux, ferme	20	10	27,5	10	30
Limon sableux rigide	20	10	30	20	50
Argile/limon, mou	19	9	25	2,5	15
Argile/limon, ferme	19	9	25	10	30
Argile/limon, rigide, très rigide	19	9	25	20	50
Limon/Argile organique	15	5	15	5	10
Sol organique (tourbe)	11	1	10	5	10
Roche, diaclasée	22	12	-	-	-
Remblai (non cohésif) densité moyenne	20	10	32,5	0	-
<p>a γ est le poids spécifique.</p> <p>b γ est le poids spécifique sous poussée.</p> <p>c ϕ est l'angle de friction interne.</p> <p>d c' est la cohésion (réelle).</p> <p>e c_u est la résistance au cisaillement sans drainage.</p>					

Annexe D (informative)

Informations relatives à l'uniformité de l'élasticité des lignes Aériennes de Contact (LAC) sur une longueur de portée

Dans le cas de lignes à grande vitesse, il convient d'appliquer un paramètre u aussi faible que possible.

Le Tableau D.1 indique les valeurs de u raisonnables pour des types particuliers de lignes aériennes de contact.

Tableau D.1 – Uniformité u de l'élasticité

Type de ligne de contact	Vitesse de circulation		
	km/h		
	200 à 230	230 à 300	Au-dessus de 300
Non équipée d'un câble en Y	< 50	< 40	< 30
Equippée d'un câble en Y	< 20	< 15	< 10

En %

Annexe E (normative)

Conditions nationales particulières

Condition nationale particulière: caractéristique ou pratique nationale qu'il n'est pas possible de modifier même sur une longue période, telle que, par exemple, des conditions climatiques ou des conditions électriques de mise à la terre

Dans les pays où s'appliquent les conditions particulières correspondantes, ces dispositions sont normatives.

Article Condition nationale particulière

5.14 Chine

Tolérances typiques d'un système de ligne aérienne de contact

Afin d'améliorer le comportement entre le pantographe et le système de ligne aérienne de contact et ainsi répondre au mieux à l'exigence de sécurité de fonctionnement, il convient de respecter les tolérances suivantes au niveau du système de ligne aérienne de contact.

Tableau E.1 – Tolérances typiques d'un système de ligne aérienne de contact

Dimensions en millimètres

No	Description	Vitesse de circulation en km/h			
		≤120	>120 à <200	=200 à <300	≥300
1	Tolérance pour la hauteur du fil de contact (1) (2) (3)				
1.1	Au niveau des points de positionnement	± 60	± 30	± 30	0, + 20
1.2	Entre des points de positionnement adjacents	± 50	± 20	± 20	0, + 10
1.3	Entre des points de pendules adjacents par intervalle de 10m	± 20	± 10	± 10	0, + 10
2	Tolérance pour le désaxement	± 50	± 50	+30, -50	0, -50
3	Déflexion latérale admissible du fil de contact sous l'effet d'un vent latéral (3)	400 ± 50	400 ± 50	450 ± 50	450 ± 50
<p>(1) Pour les voies de raccordement des transports mixtes passagers et fret actionnant des remorques à gabarit surdimensionné, la hauteur du fil de contact peut être supérieure à condition que le pantographe soit adapté au captage du courant selon la qualité spécifiée et que le développement du pantographe soit suffisant, tel que spécifié dans la CEI 60494 (toutes les parties).</p> <p>(2) Dans le cas des passages à niveau, la hauteur du fil de contact doit être conçue suivant les directives nationales.</p> <p>(3) La hauteur du fil de contact et la vitesse du vent à prendre en considération sont indiquées dans le registre des infrastructures défini dans la CEI 62498-2.</p>					

Bibliographie

Normes Internationales CEI/ISO

- [1] CEI 60060-1:2010 , *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et exigences générales*
- [2] CEI 60449:1973, *Domaines de tensions des installations électriques des bâtiments*
Amendement 1:1979
- [3] CEI 60721 (toutes les parties)¹⁾, *Classification des conditions d'environnement*
- [4] CEI/TR 60815, *Guide pour le choix des isolateurs sous pollution*
- [5] CEI 60652, *Essais mécaniques des structures de lignes aériennes*
- [6] CEI 60826, *Critères de conception des lignes aériennes de transport*
- [7] CEI 62278, *Applications ferroviaires: Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FDMS)*
- [8] CEI 62305-1, *Protection against lightning – Part 1: General* (disponible en anglais uniquement)
- [9] CEI 62305-2, *Protection contre la foudre – Partie 2: Evaluation des risques*
- [10] CEI 62305-3, *Protection contre la foudre – Partie 3: Dommages physiques sur les structures et risques humains*
- [11] CEI 62305-4, *Protection contre la foudre – Partie 4: Réseaux de puissance et de communication dans les structures*
- [12] ISO 630-2:2011, *Aciers de construction – Partie 2: Conditions techniques de livraison pour aciers de construction métallique d'usage général*
- [13] ISO 12633-2:2011, *Profils creux de construction finis à chaud, en acier non allié ou à grains fins – Partie 2: Dimensions et caractéristiques du profil*
- [14] ISO 2394:1998, *Principes généraux de la fiabilité des constructions*
- [15] ISO 3898:1997, *Bases du calcul des constructions – Notations – Symboles généraux*
- [16] ISO 4355:1998, *Bases du calcul des constructions – Détermination de la charge de neige sur les toitures*
- [17] ISO 4356:1977, *Bases du calcul des constructions – Déformations des bâtiments à l'état limite d'utilisation*
- [18] ISO 10137:2007, *Bases du calcul des constructions – Aptitude au service des bâtiments et des passerelles sous vibrations*
- [19] ISO 13823:2008, *Principes généraux du calcul des constructions pour la durabilité*
- [20] ISO 16160:2011, *Tôles en acier laminées à chaud en continu – Tolérances sur dimensions et forme*
- [21] ISO 22966:2009, *Exécution des structures en béton*

¹ La CEI 60721-2 (toutes les parties) est harmonisée comme HD 478.2 (toutes les parties).

Fiches UIC internationales

- [22] Fiche UIC 505-1, *Matériel de transport ferroviaire – Gabarit de construction du matériel roulant*
- [23] Fiche UIC 505-4, *Conséquences de l'application des gabarits cinématiques définis par les fiches 505 (toutes les parties) sur l'implantation des obstacles par rapport aux voies et des voies entre elles*
- [24] Fiche UIC 505-5, *Conditions de base communes aux fiches n° 505-1 et 505-4 – Commentaires sur l'élaboration et les prescriptions de ces fiches*
- [25] Fiche UIC 600, *Traction électrique avec ligne de contact aérienne*
- [26] Fiche UIC 606-1, *Conséquences de l'application des gabarits cinématiques définis par les fiches UIC n° 505 (toutes les parties) sur la conception du système caténaire*
- [27] Fiche UIC 606-2, *Etablissement des lignes de contact 25 kV et 50 ou 60 Hz et exigences concernant les pantographes*
- [28] Fiche UIC 608, *Conditions à respecter pour les pantographes des engins moteurs utilisés en service international*
- [29] Fiche UIC 791, *Assurance qualité des installations – Caténaires*
- [30] Fiche UIC 794, *Interaction entre caténaire et pantographe dans le réseau européen à grande vitesse*

Normes Européennes

- [31] EN 206-1, *Béton – Partie 1: Spécification, performances, production et conformité*
- [32] EN 485-1, *Aluminium et alliages d'aluminium – Tôles, bandes et tôles épaisses – Partie 1: Conditions techniques de contrôle et de livraison*
- [33] EN 755-1, *Aluminium et alliages d'aluminium – Barres, tubes et profilés filés – Partie 1: Conditions techniques de contrôle et de livraison*
- [34] EN 755-2, *Aluminium et alliages d'aluminium – Barres, tubes et profilés filés – Partie 2: Caractéristiques mécaniques*
- [35] EN 1536, *Exécution des travaux géotechniques spéciaux – Pieux forés*
- [36] EN 1537, *Exécution des travaux géotechniques spéciaux – Tirants d'ancrage*
- [37] EN 1090 (toutes les parties), *Exécution des structures en acier et des structures en aluminium*
- [38] EN 1090-1, *Exécution des structures en acier et des structures en aluminium – Partie 1: exigences pour l'évaluation de la conformité des éléments structuraux*
- [39] EN 1990:2002, *Eurocode – Bases de calcul des structures*
- [40] EN 1991-1-4:2005, *Eurocode 1: Actions sur les structures – Partie 1-4: Actions générales – Actions du vent*
- [41] EN 1991-2, *Eurocode 1: Actions sur les structures – Partie 2: Actions sur les ponts, dues au trafic*
- [42] ENV 1991-2-4:1995, *Eurocode 1: Bases de calcul et actions sur les structures – Partie 2-4: Actions sur les structures – Actions du vent*
- [43] EN 1992 (toutes les parties), *Eurocode 2: Calcul des structures en béton*

- [44] EN 1992-1 (toutes les parties), *Eurocode 2 – Calcul des structures en béton*
- [45] EN 1992-1-1, *Eurocode 2: Calcul des structures en béton – Partie 1-1: règles générales et règles pour les bâtiments*
- [46] EN 1993 (toutes les parties), *Eurocode 3: Calcul des structures en acier*
- [47] EN 1993-1-1:2005, *Eurocode 3: Calcul des structures en acier – Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments*
- [48] EN 1993-1-10, *Eurocode 3 – Calcul des structures en acier – Partie 1-10: Choix des qualités d'acier*
- [49] EN 1993-5, *Eurocode 3: Calcul des structures en acier – Partie 5: pieux et palanches*
- [50] EN 1995 (toutes les parties), *Eurocode 5: Conception et calcul des structures en bois*
- [51] EN 1997 (toutes les parties), *Eurocode 7: Calcul géotechnique*
- [52] EN 1997-1:2004, *Eurocode 7: Calcul géotechnique – Partie 1: Règles générales*
- [53] EN 1997-2:2007, *Eurocode 7: Calcul géotechnique – Partie 2: Reconnaissance des terrains et essais*
- [54] EN 1998 (toutes les parties), *Eurocode 8: Calcul des structures pour leur résistance aux séismes*
- [55] EN 1999 (toutes les parties), *Eurocode 9: Calcul des structures en aluminium*
- [56] EN 10025 (toutes les parties), *Produits laminés à chaud en acier de construction*
- [57] EN 10025-1, *Produits laminés à chaud en acier de construction Partie 1: Conditions techniques générales de livraison*
- [58] EN 10149 (toutes les parties), *Produits plats laminés à chaud en aciers à haute limite d'élasticité pour formage à froid*
- [59] EN 10164, *Aciers de construction à caractéristiques de déformation améliorées dans le sens perpendiculaire à la surface du produit – Conditions techniques de livraison*
- [60] EN 10210 (toutes les parties), *Profils creux de construction finis à chaud en aciers non alliés et à grains fins*
- [61] EN 10219 (toutes les parties), – *Profils creux de construction soudés, formés à froid en aciers non alliés et à grains fins*
- [62] EN 12465, *Poteaux en bois pour lignes aériennes – Exigences de durabilité*
- [63] EN 12479, *Poteaux en bois pour lignes aériennes – Dimensions – Méthodes de mesures et écarts admissibles*
- [64] EN 12509, *Poteaux en bois pour lignes aériennes – Méthodes d'essai – Détermination du module d'élasticité, de la résistance à la flexion, de la masse volumique et de la teneur en humidité*
- [65] EN 12510, *Poteaux en bois pour lignes aériennes – Critères de classement de la résistance*
- [66] EN 12511, *Poteaux en bois pour lignes aériennes – Détermination des valeurs caractéristiques*
- [67] EN 12699, *Exécution des travaux géotechniques spéciaux – Poteaux avec refoulement de sol*
- [68] EN 12843, *Produits préfabriqués en béton – Mâts et poteaux*

- [69] EN 15016 (toutes les parties), *Dessins techniques – Applications ferroviaires*
- [70] EN 20898-2, *Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation – Partie 2: Écrous avec charges d'épreuve spécifiées – Filetage à pas gros (ISO 898-2)*
- [71] EN 50119, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Lignes aériennes de contact pour la traction électrique*
- [72] EN 50149, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Traction électrique – Fils rainurés en cuivre et en cuivre allié*
- [73] EN 50182, *Conducteurs pour lignes aériennes – Conducteurs à brins circulaires, câblés en couches concentriques*
- [74] EN 50183, *Conducteurs pour lignes aériennes – Fils en alliage d'aluminium-magnésium-silicium*
- [75] EN 50189, *Conducteurs pour lignes aériennes – Fils d'acier zingué*
- [76] EN 50317, *Applications ferroviaires – Systèmes de captage de courant – Prescriptions et validation des mesures de l'interaction dynamique entre le pantographe et la caténaire*
- [77] EN 50318, *Applications ferroviaires – Systèmes de captage de courant – Validation des simulations de l'interaction dynamique entre le pantographe et la caténaire*
- [78] EN 50326, *Conducteurs pour lignes aériennes – Caractéristiques des produits de protection*
- [79] EN 50341-1:2001, *Lignes électriques aériennes dépassant AC 45 kV – Partie 1: Règles générales – Spécifications communes*
- [80] EN 50345, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Traction électrique – Montages mettant en œuvre des câbles synthétiques pour le support des lignes aériennes de contact*
- [81] CLC/TS 50502, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Equipement électrique des trolleybus – Exigences de sécurité et systèmes de connexion*

Normes Nationales (en anglais uniquement)

- [82] GB50009-2001, *Load code for the design of building structure* (National standards of China)
- [83] GB50153-2008, *Unified standard for reliability design of engineering structures* (National standards of China)
- [84] TB/T 2809-2005, *Copper and Copper-Alloy Contact Wires for Electric Railway*
- [85] TB/T 3111-2005, *Stranded Copper and Copper-Alloy Conductors for Electric Railway*
- [86] GB/T 1179-2008, *Round wire concentric lay overhead electrical stranded conductors*
- [87] Shorei 151 Ministerial Ordinance to Provide the Technical Standard on Railway in Japan, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, 2001.
- [88] Official notice 78 Approved specification for Ministerial Ordinance to Provide the Technical Standard on Railway (Kaishaku-kijun), Railway Bureau of MLIT, 2007
- [89] JIS E 2002 Electric traction overhead lines – Fittings – Test methods.
- [90] GB 50017-2007, *Code for design of steel structures*
- [91] GB 50010-2010, *Code for design of concrete structure*
- [92] GB 50011-2010, *Code for seismic design of buildings*

[93] JGJ 94-2008, *Technical Code for Building Pile Foundations*

[94] JGJ106-2003, *Technical code for testing of building foundation piles*

Autres informations techniques (en anglais uniquement)

[95] Technical Report, No. 660, Current capacities of overhead lines, The Institute of Electrical Engineers of Japan (IEEJ), 1997

[96] Design and installation standard for overhead contact lines, Japan Railway Construction Transport and Technology Agency, 2011-3.

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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