

# 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**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60913:2013



**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](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://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](http://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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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](http://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](http://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](http://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](mailto: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](http://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](http://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](http://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](http://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](mailto:csc@iec.ch).

# 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  
CODE PRIX

**XD**

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 $\sigma_w$ .....	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 $\gamma_M$ for steel material.....	54
Table 17	– Recommended values for partial factors $\gamma_M$ for concrete structures.....	54
Table 18	– Recommended values for partial factors $\gamma_M$ 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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60913:2013

# 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60913:2013

# 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
$Q_{wL}$	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
$R_{p 0,2 \text{ min}}$	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
$\alpha$	heat transmission coefficient
$\Phi$	angle of incidence of the critical wind direction
$\gamma_A$	partial factor for accidental loads
$\gamma_C$	partial factor for conductor tensile forces
$\gamma_{CG}$	partial factor for permanent conductor tensile forces
$\gamma_{CV}$	partial factor for variable conductor tensile forces
$\gamma_F$	partial factor for actions
$\gamma_G$	partial factor for permanent actions
$\gamma_I$	partial factor for ice loads
$\gamma_M$	partial factor for a material property
$\gamma_P$	partial factor for construction and maintenance loads
$\gamma_W$	partial factor for wind loads
$\mu_{tot}$	coefficient of friction for bolt connections
$\rho$	density of air
$\rho_l$	unit weight force of ice
$\sigma_{min}$	minimum failing tensile stress of the contact wire
$\sigma_w$	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) <sup>a</sup>	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 <sup>b</sup>
<sup>a</sup> Only for existing systems. <sup>b</sup> 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 $\sigma_w$

The maximum permissible working tensile stress  $\sigma_w$  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  $\sigma_{min}$  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:

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

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.

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

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 $K_{\text{eff}}$

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

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

### 5.3.6 Termination fittings $K_{\text{clamp}}$

The effect of termination fittings is considered by the factor  $K_{\text{clamp}}$  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,  $K_{\text{clamp}}$  shall be equal to the ratio of the clamping force to the tensile strength.

### 5.3.7 Joints $K_{\text{joint}}$

The effect of joints is considered by the factor  $K_{\text{joint}}$ . 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,  $K_{\text{joint}}$  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  $F_{\text{Bmin}}$  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 $K_{\text{temp}}$

The factor  $K_{\text{temp}}$  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  $K_{\text{temp}}$  for stranded conductors**

Stranded wire type	$K_{\text{temp}}$	
	For max. temperature $\leq 80$ °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**

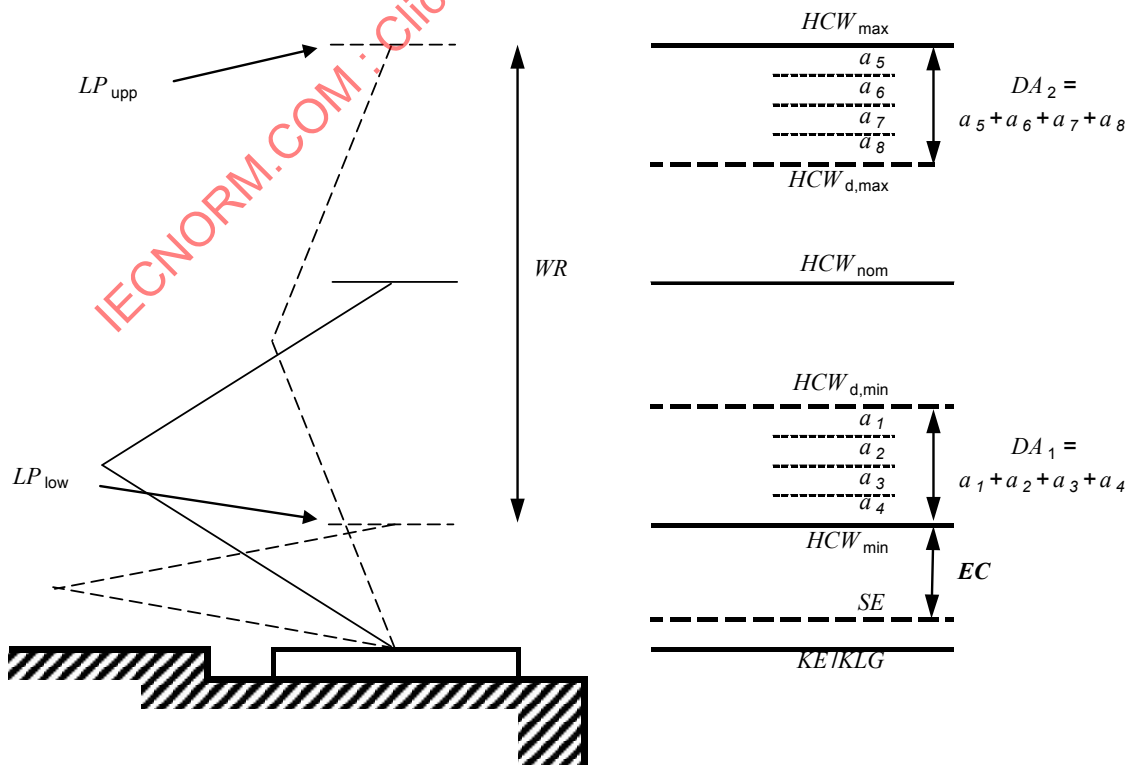
It is permissible to set the nominal height for an overhead contact line in the range between the minimum and the maximum design heights of the contact wire.

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

$LP_{\text{upp}}$	upper operating position of pantograph or collector (see IEC 60494-1)
$LP_{\text{low}}$	lower operating position of pantograph or collector (see IEC 60494-1)
$WR$	working range of pantograph or collector (see IEC 60494-1)
$KEIKLG$	kinematic envelope / kinematic load gauge height
$SE$	swept envelope height
$EC$	electrical clearances
$HCW_{\text{min}}$	minimum contact wire height
$HCW_{\text{max}}$	maximum contact wire height
$HCW_{\text{d,min}}$	minimum design contact wire height
$HCW_{\text{d,max}}$	maximum design contact wire height
$HCW_{\text{nom}}$	nominal contact wire height
$DA_1$	design allowances above $HCW_{\text{min}}$
	$a_1$ 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 $HCW_{\text{max}}$
	$a_5$ 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 disconnecter 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.

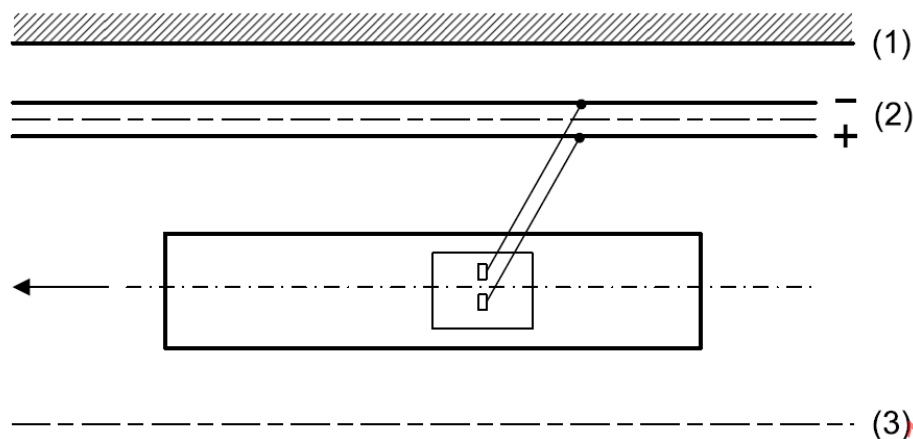
Consideration also shall be given to the environmental operating conditions and the urban area in which the overhead contact line will be installed, with particular attention being given to any national requirements for structural clearances.

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  $\pm 15$  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).

**Key**

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

IEC 257/13

**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
<b>Type A, safety related</b>				
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
<b>Type B, related to quality of current collection</b>				
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	
<b>Type C, compatibility related</b>				
geometrical tolerances of component interfaces	X		X	
<b>Type D, aesthetics related</b>				
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

$\gamma_F$  is the partial factor for actions;

$F_K$  is the characteristic value of an action.

In general, the partial factor for actions  $\gamma_F$  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  $\gamma_M$  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:

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

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;

$\rho$  is the air density equal to 1,225 kg/m<sup>3</sup> 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;

$\Phi$  is the angle of incidence of the critical wind direction in respect to the perpendicular to the conductor. In general  $\Phi$  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:

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

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.

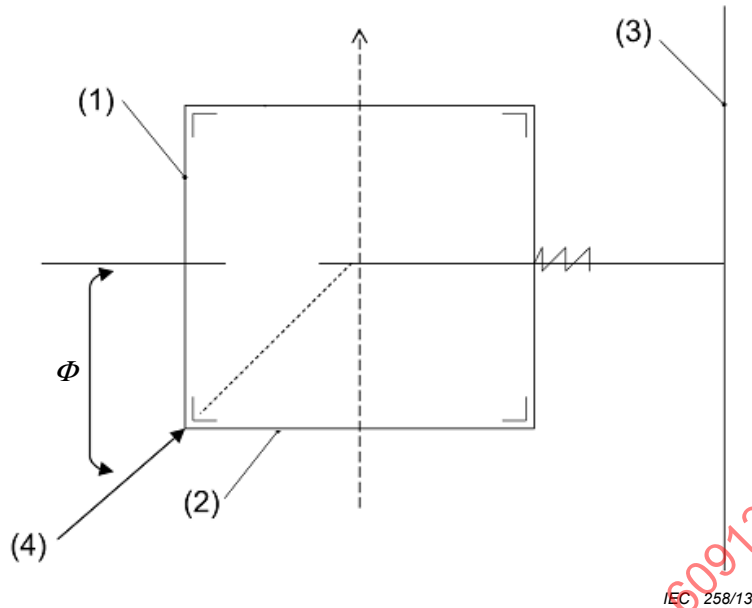
#### 6.2.4.6 Wind forces on lattice structures

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

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

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;
- $\phi$  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:

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

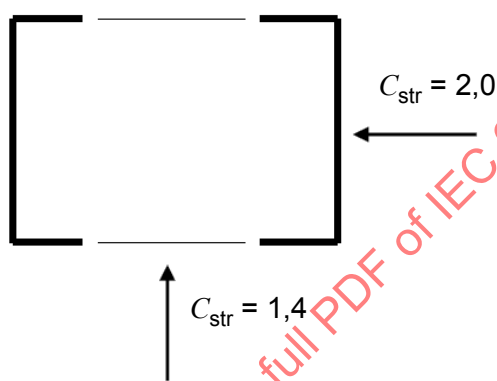
where

- $q_K$  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  $\rho_1$  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  $-20\text{ °C}$ ; ambient reference temperature  $+5\text{ °C}$ ; temperature with ice loads (and combined wind and ice load where relevant)  $-5\text{ °C}$ ; 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 <sup>f</sup>	B Wind <sup>g</sup>	C Ice <sup>e, h</sup>	D Wind and ice <sup>e, h</sup>	E Construction and maintenance <sup>e, h</sup>	F Accidental <sup>g</sup>
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 <sup>a</sup>
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 <sup>a</sup>
9	Structures for horizontal catenary wire arrangements	X	X	X	X	-	X
10	Tensioning structures	X	X	X	X	X	X <sup>c</sup>
11	Structures with feeder and parallel reinforcing lines	X	X	X	X	X	X <sup>e</sup>
12	OCS structures carrying additional power lines <sup>b</sup>	X	X	X	X	X	X
13	Anchor supports	X <sup>d</sup>	X <sup>d</sup>	X <sup>d</sup>	X <sup>d</sup>	X <sup>d</sup>	X <sup>d</sup>
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><sup>a</sup> If midpoint.</p> <p><sup>b</sup> See also EN 50341-1 in Europe.</p> <p><sup>c</sup> If contact lines are terminated in two opposite directions.</p> <p><sup>d</sup> Depending on the type of anchor.</p> <p><sup>e</sup> If necessary.</p> <p><sup>f</sup> Minimum temperature to be considered with no other climatic action. See 6.2.7.</p> <p><sup>g</sup> The normal ambient reference temperature to be assumed for the extreme wind load condition. See 6.2.7.</p> <p><sup>h</sup> 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  $\gamma_G$  and for permanent actions of conductor tensile forces is  $\gamma_{CG}$ . 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  $\gamma_G$  shall be assumed to be 1,0.

### 6.3.3.3 Variable actions, wind and ice loads

For the partial factors  $\gamma_W$  for wind loads,  $\gamma_I$  for ice loads and  $\gamma_{CV}$  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  $\gamma_G$  for permanent loads,  $\gamma_C$  for conductor tensile forces and  $\gamma_A$  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  $\gamma_P$  shall be 1,5. This shall be combined with a value of 1,3 for partial factors  $\gamma_G$  and  $\gamma_{CG}$  for permanent actions.

**Table 15 – Summary of partial factors for actions**

Type of load	Load case					
	A	B	C	D	E	F
Permanent $\gamma_G$ , $\gamma_{CG}$	1,3 <sup>b</sup>	1,3 <sup>b</sup>	1,3 <sup>b</sup>	1,3 <sup>b</sup>	1,3 <sup>b</sup>	1,0 <sup>b</sup>
Permanent favourable $\gamma_G$ , $\gamma_{CG}$	1,0 / 0 <sup>a</sup>	1,0 / 0 <sup>a</sup>	1,0 / 0 <sup>a</sup>	1,0 / 0 <sup>a</sup>	1,0 / 0 <sup>a</sup>	1,0 / 0 <sup>a</sup>
Wind $\gamma_W$ , $\gamma_{CV}$	-	1,3 <sup>b</sup>	-	1,3 <sup>b</sup>	-	1,0 <sup>b</sup>
Ice $\gamma_I$ , $\gamma_{CV}$	-	-	1,3 <sup>b</sup>	1,3 <sup>b</sup>	-	-
Accidental $\gamma_A$	-	-	-	-	-	1,0
Construction $\gamma_P$	-	-	-	-	1,5	-
<sup>a</sup> Equipment removed. <sup>b</sup> 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  $\gamma_M$  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  $\gamma_M$  for steel material**

Structure type	$\gamma_M$
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  $\gamma_M$  for concrete structures**

Structure type	$\gamma_M$
Pre-stressing force <sup>a</sup>	0,90 or 1,20
Concrete	1,50
Reinforcing steel (ordinary or pre-stressed)	1,15

<sup>a</sup> 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 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;

$\gamma_M$  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  $\gamma_M$  for foundations**

Structure type	$\gamma_M$
<b>Spread foundation</b>	
Bearing resistance	1,4
Earth resistance and bearing resistance	1,4
Sliding resistance	1,1
<b>Pile foundation</b>	
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/m<sup>3</sup>. 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  $\mu_{tot} = 0,1$  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 <sup>2</sup>	300 N/mm <sup>2</sup>	640 N/mm <sup>2</sup> <sup>a</sup>	450 N/mm <sup>2</sup>	600 N/mm <sup>2</sup>	540 N/mm <sup>2</sup>	
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.

<sup>a</sup> Above M16: 660 N/mm<sup>2</sup>.

**Table 20 – Examples of bolt connections**

Bolt	Nut	Head support	Lubricant	Coefficient of friction $\mu_{tot}$
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 <sup>a</sup>	5 <sup>b</sup>
5.6 <sup>a</sup>	5 <sup>b</sup>
8.8 <sup>a</sup>	8 <sup>b</sup>
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)
<sup>a</sup> According to ISO 898-1. <sup>b</sup> According to ISO 898-2 and EN 20898-2 in Europe.	

**Table 22 – Conversion factor for tightening torques**

Coefficient of friction $\mu_{tot}$	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/mm<sup>2</sup> per second to 10 N/mm<sup>2</sup> 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/mm<sup>2</sup> per second to 10 N/mm<sup>2</sup> 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**

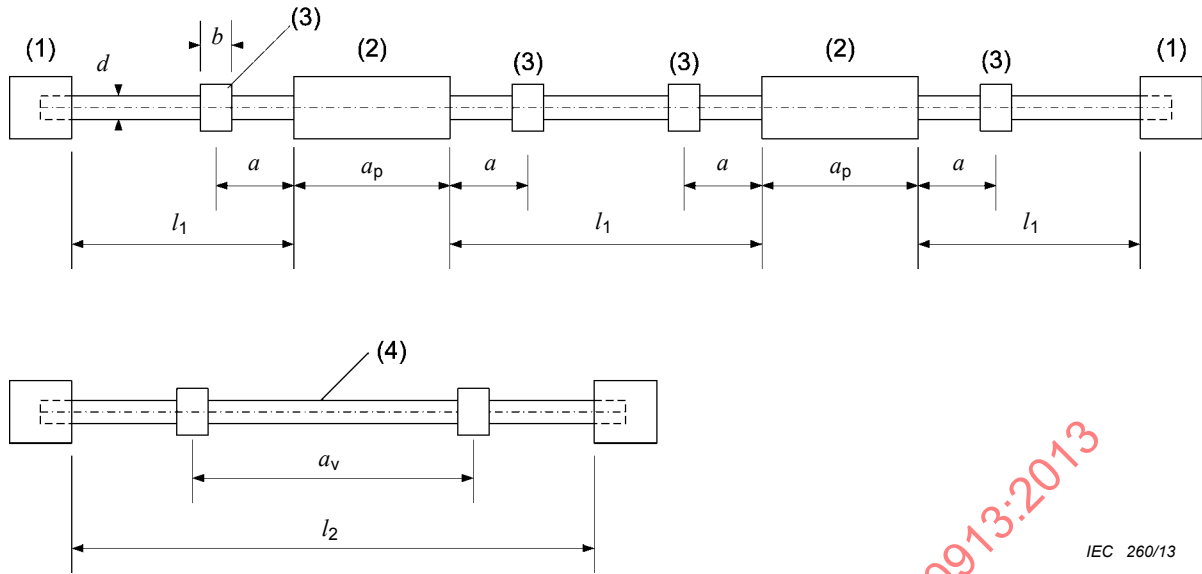
The arrangement of the test specimens during the electrical tests is not mandated. However, it is recommended that the tests are carried out in the horizontal position.

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**

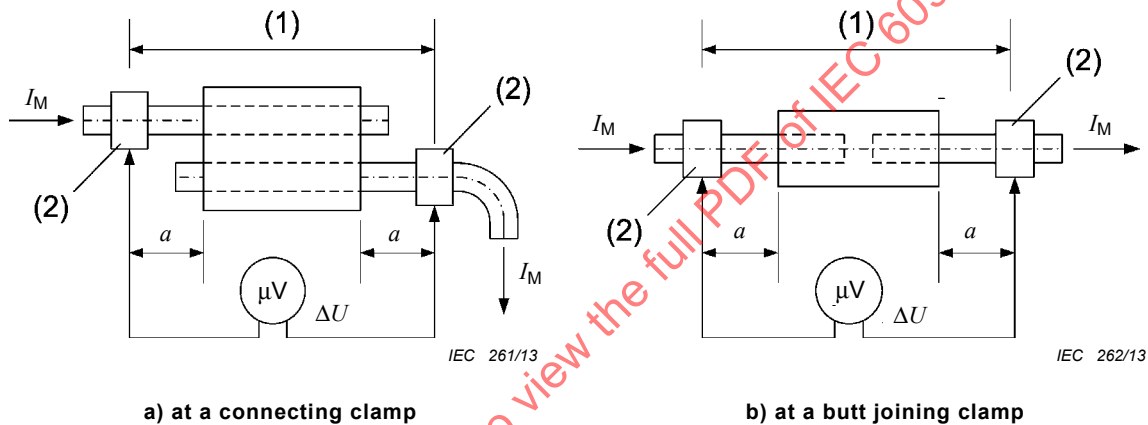
For the comparison of temperature and resistance values during the temperature and resistance measurements, the test set-up shall include one uncut conductor. If a clamp is used to connect two conductors of different sizes, the smaller of the two shall be used as the comparison conductor.

**8.2.1.6.6.5 Potential measuring points**

In the case of stranded conductors, the points for measuring the voltage  $\Delta U$  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.

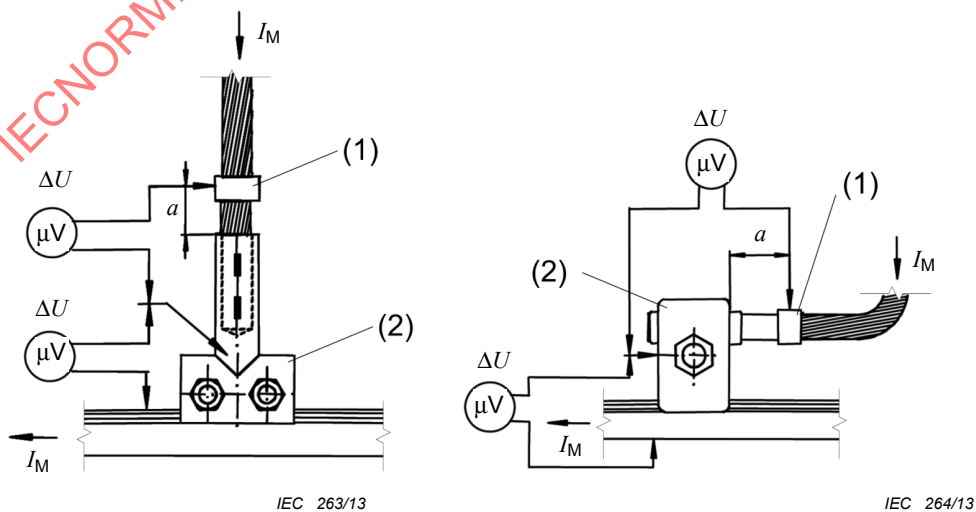
Other commonly used methods may also be used.



**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/mm<sup>2</sup> per second to 10 N/mm<sup>2</sup> 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  $F_{\text{max}}$  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  $F_{\text{max}}$ ;
- 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  $F_{\text{max}}$  of the test specimen shall be equal to or greater than the required nominal force  $F_{\text{nom}}$  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  $F_{\text{max}}$  of the test specimen shall be equal to or greater than the required nominal force  $F_{\text{nom}}$  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:

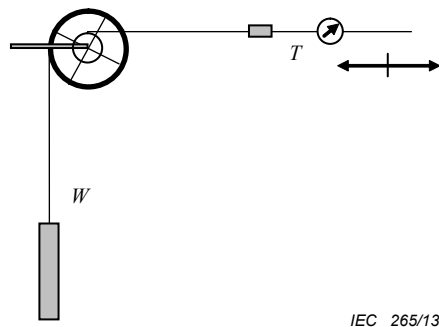
$$E = \frac{T}{W \times r} \quad (21)$$

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**

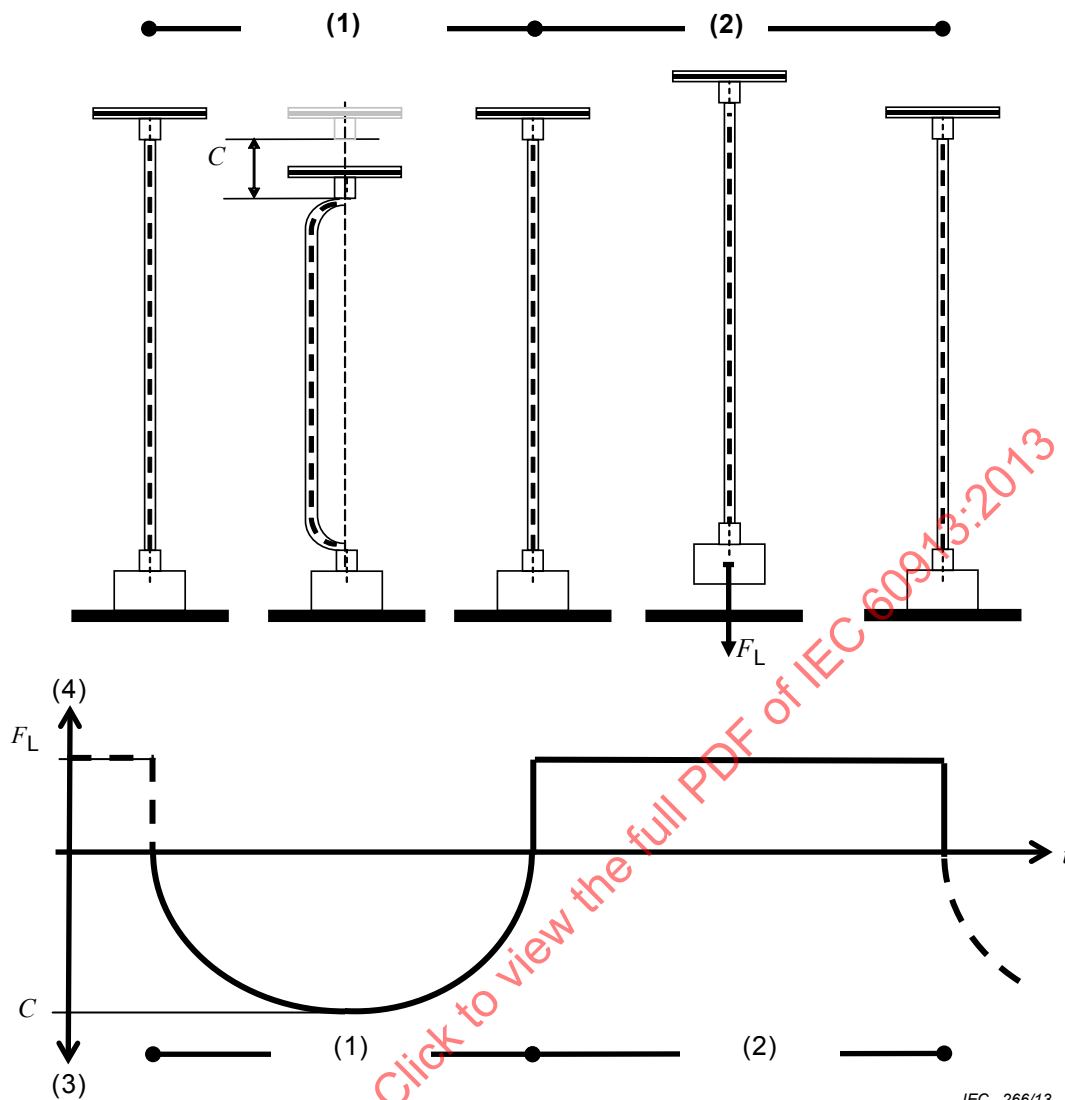
This test consists of an alternate load and compression cycle, as shown in Figure 9. The droppers shall be tested with their specific clamping devices. The test parameters shall be defined within the range given below taking into account the operational conditions and the different types of contact line 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60913:2013



IEC 266/13

**Key**

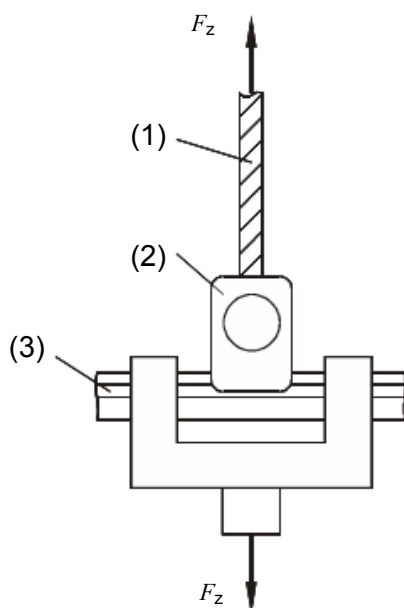
- (1) half-cycle – dropper in compression
- (2) half-cycle – dropper subject to internal force
- (3) compression
- (4) force
- $C$  compression amplitude
- $F_L$  internal force

**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.



IEC 267/13

**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**

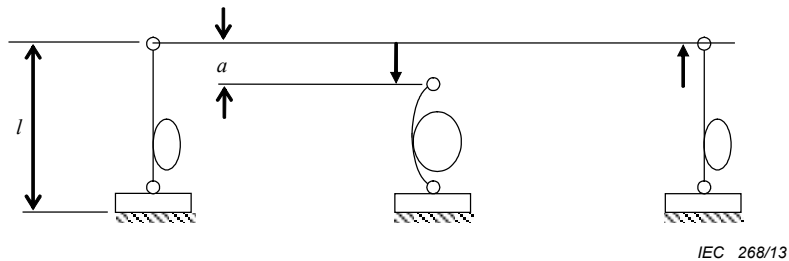
This test is only necessary for electrical connections used on lines with a speed of 160 km/h and higher if they are used at the contact wire. At least three complete electrical connections shall be tested. The test parameters shall be defined within the range given below taking into account the operational 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60913:2013

## Annex A (informative)

### Current-carrying capacity of conductors

The following parameters affect the current carrying capacity of a conductor:

- heat transmission coefficient  $\alpha$ ;
- 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/m<sup>2</sup>.

**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	$\gamma^a$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma^b$ kN/m <sup>3</sup>	$\phi^c$ Degree	$c^d$ kN/m <sup>2</sup>	$c_u^e$ kN/m <sup>2</sup>
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><sup>a</sup> <math>\gamma</math> specific weight.</p> <p><sup>b</sup> <math>\gamma'</math> specific weight under buoyancy.</p> <p><sup>c</sup> <math>\phi'</math> angle of internal friction.</p> <p><sup>d</sup> <math>c'</math> cohesion (effective).</p> <p><sup>e</sup> <math>c_u</math> 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			In %
	200 to 230	230 to 300	Above 300	
Without stitch wire	< 50	< 40	< 30	
With stitch wire	< 20	< 15	< 10	

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60913:2013



## 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)<sup>1</sup>, *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*

---

<sup>1</sup> 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 $\sigma_w$ .....	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 $K_{\text{clamp}}$ .....	130
5.4.7	Charge verticale supplémentaire $K_{\text{load}}$ .....	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 $F_{\text{W}}$ .....	130
5.7.3	Charges dues au vent $K_{\text{wind}}$ .....	131
5.7.4	Charges dues au givre $K_{\text{ice}}$ .....	131
5.7.5	Pinces d'extrémité $K_{\text{clamp}}$ .....	131
5.7.6	Charges verticales $K_{\text{load}}$ .....	131
5.7.7	Rayon de courbure minimal $K_{\text{radius}}$ .....	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 – Pentés 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 $\gamma_M$ pour l'acier .....		155

Tableau 17 – Facteurs partiels recommandés $\gamma_M$ pour les structures en béton.....	156
Tableau 18 – Facteurs partiels recommandés $\gamma_M$ 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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60913:2013

## 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60913:2013

# 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 – Eléments 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**

coupure 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

#### **penne**

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
$G_{\text{ins}}$	facteur de résonance structurelle pour les ensembles d'isolateurs
$G_K$	valeur caractéristique des actions permanentes
$G_{\text{lat}}$	facteur de résonance structurelle pour les structures maillées
$G_q$	facteur de réaction aux rafales
$G_{\text{str}}$	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
$N_{\text{dax}}$	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> )
$P_{\text{prim}}$	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
$R_{\text{dax}}$	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
$\alpha$	coefficient de transmission de la chaleur
$\Phi$	angle d'incidence de la direction critique du vent
$\gamma_A$	facteur partiel pour les charges accidentelles
$\gamma_C$	facteur partiel pour les forces de traction des conducteurs

$\gamma_{CG}$	facteur partiel pour les forces de traction permanentes des conducteurs
$\gamma_{CV}$	facteur partiel pour les forces de traction variables des conducteurs
$\gamma_F$	facteur partiel pour les actions
$\gamma_G$	facteur partiel pour les actions permanentes
$\gamma_I$	facteur partiel pour les charges de givre
$\gamma_M$	facteur partiel pour la propriété du matériau
$\gamma_P$	facteur partiel pour les charges de construction et de maintenance
$\gamma_W$	facteur partiel pour les charges de vent
$\mu_{tot}$	coefficient de friction des connections boulonnées
$\rho$	densité de l'air
$\rho_l$	densité de la glace
$\sigma_{min}$	contrainte de traction minimale admissible du fil de contact
$\sigma_w$	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) <sup>a</sup>	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 <sup>b</sup>
<sup>a</sup> Seulement pour les systèmes existants. <sup>b</sup> 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  $u$ :

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

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 $\sigma_w$

La contrainte de traction maximale admissible en service  $\sigma_w$  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  $\sigma_{\min}$  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 usé 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 $K_{\text{temp}}$

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  $K_{\text{temp}}$  qui exprime la relation entre la contrainte de traction admissible et la température maximale en service du fil de contact.

**Tableau 5 – Facteur  $K_{\text{temp}}$  pour fils de contact**

Matériau du fil de contact	$K_{\text{temp}}$	
	Température maximale $\leq 80$ °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  $K_{\text{temp}}$  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 $K_{\text{wear}}$

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 $K_{\text{icewind}}$

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  $K_{\text{icewind}}$  dépend des charges de vent et de givre, ainsi que du type de ligne aérienne de contact conformément au Tableau 6.

**Tableau 6 – Facteur  $K_{\text{icewind}}$  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 $K_{\text{eff}}$

L'efficacité des équipements tendeurs est définie par le facteur  $K_{\text{eff}}$ . Dans le cas d'une conception standard et d'installation d'équipements tendeurs,  $K_{\text{eff}}$  est supposé être égal à l'efficacité spécifiée et prouvée par le fournisseur.

En présence d'ancrages fixes,  $K_{\text{eff}}$  doit être égal à 1,0.

### 5.3.6 Pièces d'extrémité $K_{\text{clamp}}$

L'effet dû aux pièces d'extrémité est défini par le facteur  $K_{\text{clamp}}$  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,  $K_{\text{clamp}}$  doit être égal au rapport de l'effort de serrage à la résistance à la traction.

### 5.3.7 Joints $K_{\text{joint}}$

L'effet des joints est défini par le facteur  $K_{\text{joint}}$ . 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,  $K_{\text{joint}}$  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  $F_{\text{Bmin}}$  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 $\leq 80$ °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 $\leq 100$ 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 $K_{\text{eff}}$

La précision et l'efficacité des équipements tendeurs sont définies par le facteur  $K_{\text{eff}}$ . Dans le cas d'une conception standard et de l'installation d'équipements tendeurs,  $K_{\text{eff}}$  doit être égal à l'efficacité spécifiée et prouvée par le fournisseur.

En présence d'ancrage fixe,  $K_{\text{eff}}$  doit être égal à 1,0.

#### 5.4.6 Pièces d'extrémité $K_{\text{clamp}}$

L'effet dû aux pièces d'extrémité est défini par le facteur  $K_{\text{clamp}}$  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,  $K_{\text{clamp}}$  doit être égal au rapport de l'effort de serrage à la charge de rupture assignée.

#### 5.4.7 Charge verticale supplémentaire $K_{\text{load}}$

L'effet des charges verticales liées aux porteurs est défini par un facteur  $K_{\text{load}}$  égal à 0,8. Tout câble porteur ne subissant aucune charge verticale doit se voir affecter un facteur  $K_{\text{load}}$  égal à 1,0.

Les charges des pendules ne sont pas comprises dans la définition du facteur  $K_{\text{load}}$ .

### 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  $\leq 100$  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.

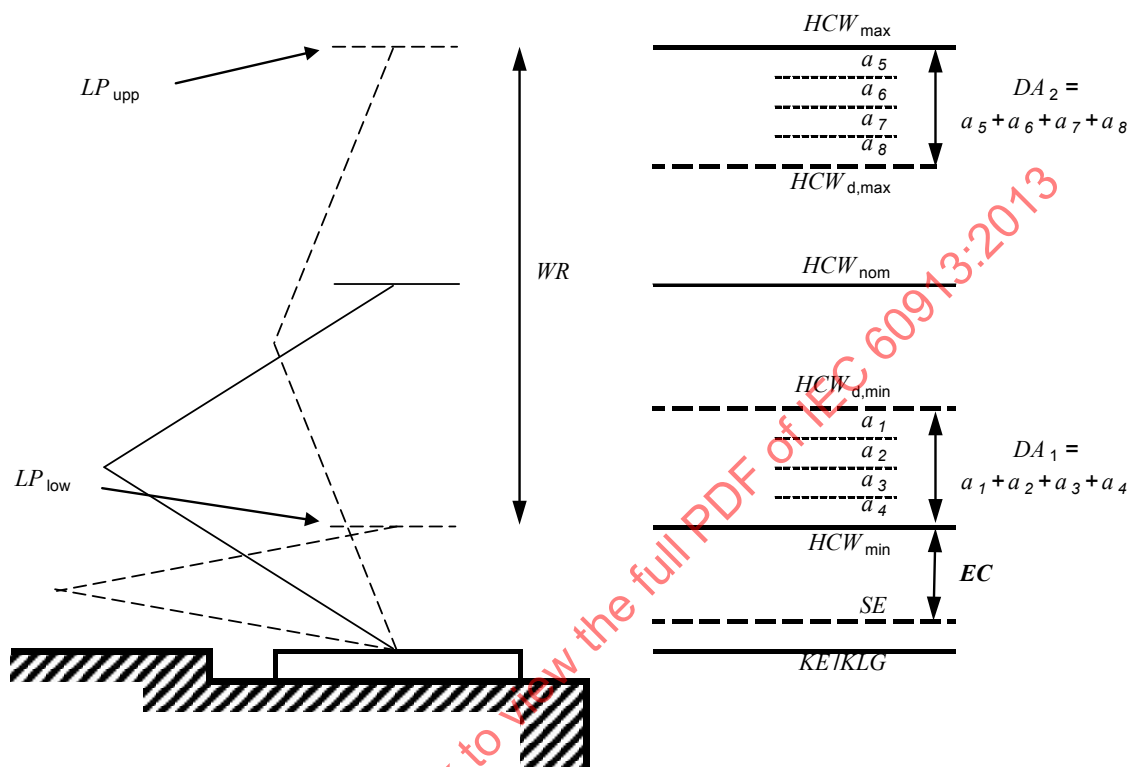
NOTE La CEI 62486 spécifie les hauteurs du fil de contact des lignes interopérables.

### 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.



**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

IEC 256/13

**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.

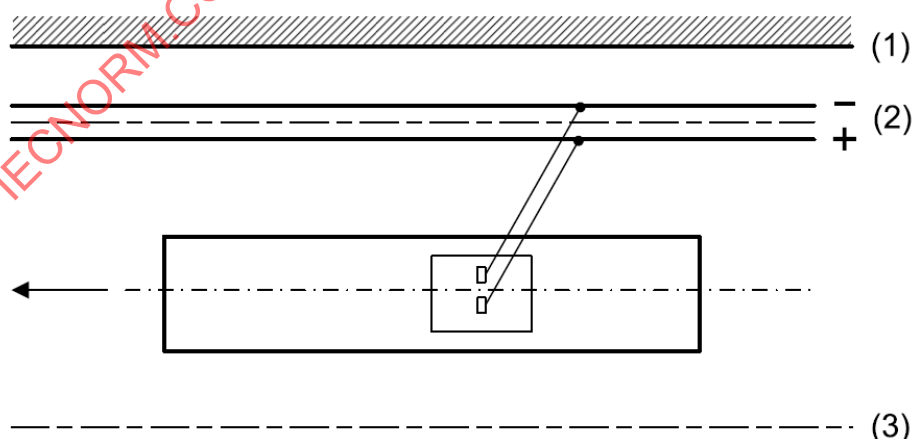
On doit également prendre en considération les conditions d'environnement et les zones urbaines dans lesquelles les lignes aériennes de contact seront installées, en faisant particulièrement attention aux exigences nationales en matière de distances d'isolement des structures.

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  $\pm 15$  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
<b>Type A, liés à la sécurité</b>				
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
<b>Type B, liés à la qualité du captage de courant</b>				
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	
<b>Type C, liés à la compatibilité</b>				
Tolérances géométriques des interfaces de composants	X		X	
<b>Type D, liés à l'esthétique</b>				
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

$\gamma_F$  est le facteur partiel pour les actions;

$F_K$  est la valeur caractéristique d'une action.

En général, le facteur partiel pour les actions  $\gamma_F$  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  $\gamma_M$  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;

$\rho$  est la densité de l'air égale à 1,225 kg/m<sup>3</sup> 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;

$\Phi$  est l'angle d'incidence de la direction critique du vent par rapport à la normale au conducteur. On admet généralement que  $\Phi$  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);

$G_{\text{ins}}$  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;

$C_{\text{ins}}$  est le coefficient de traînée des isolateurs. Une valeur de 1,2 est recommandée; le client peut spécifier d'autres valeurs;

$A_{\text{ins}}$  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);

$G_{\text{lat}}$  est le facteur de résonance structurale. Pour les structures maillées, il convient qu'il soit égal à 1,05;

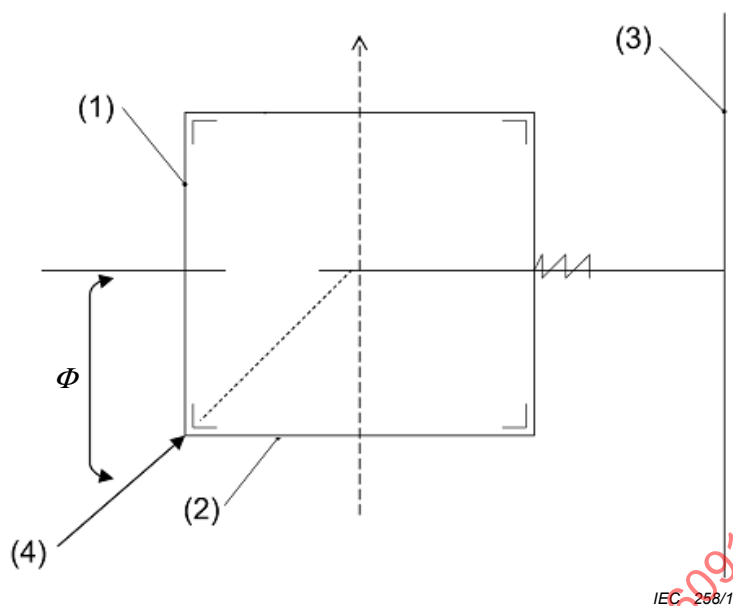
$C_{\text{lat1}}$  est le coefficient de traînée de la face 1 de la structure maillée dans un vent perpendiculaire à cette face;

$C_{\text{lat2}}$  est le coefficient de traînée de la face 2 de la structure maillée dans un vent perpendiculaire à cette face;

$A_{\text{lat1}}$  est la surface effective des éléments de la face 1 de la structure maillée;

$A_{\text{lat2}}$  est la surface effective des éléments de la face 2 de la structure maillée;

$\phi$  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:

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

où

$q_K$  est la pression dynamique du vent (voir 6.2.4.2);

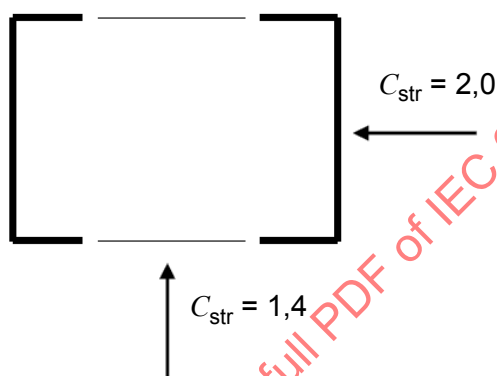
$G_{str}$  est le facteur de résonance structurelle de la structure. Pour les structures autoportantes en acier ou en béton habituellement utilisées pour les lignes aériennes de contact,  $G_{str}$  doit être égal à 1,0. D'autres valeurs peuvent être utilisées si elles sont déterminées à partir de normes 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  $\rho_I$  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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60913:2013

**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 <sup>f</sup>	B Vent <sup>g</sup>	C Givre <sup>e, h</sup>	D Vent et givre <sup>e, h</sup>	E Construction et maintenance <sup>e, h</sup>	F Accidentel <sup>g</sup>
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 <sup>a</sup>
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 <sup>a</sup>
9	Structures pour porteurs horizontaux	X	X	X	X	-	X
10	Structures de tensionnement mécanique	X	X	X	X	X	X <sup>c</sup>
11	Structures avec lignes parallèles de renforcement et câble d'alimentation	X	X	X	X	X	X <sup>e</sup>
12	Structures de ligne aérienne de contact portant des lignes aériennes d'alimentation supplémentaires <sup>b</sup>	X	X	X	X	X	X
13	Supports d'ancrage	X <sup>d</sup>	X <sup>d</sup>	X <sup>d</sup>	X <sup>d</sup>	X <sup>d</sup>	X <sup>d</sup>
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><sup>a</sup> Dans le cas d'un point médian.</p> <p><sup>b</sup> Voir aussi la EN 50341-1 en Europe.</p> <p><sup>c</sup> Si les lignes de contact sont terminées dans deux directions opposées.</p> <p><sup>d</sup> Selon le type d'ancrage.</p> <p><sup>e</sup> Si cela est nécessaire.</p> <p><sup>f</sup> Température minimale à considérer sans aucune autre action climatique. Voir 6.2.7.</p> <p><sup>g</sup> Température normale ambiante présumée avec charge de vent extrême. Voir 6.2.7.</p> <p><sup>h</sup> 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  $\gamma_G$ , et  $\gamma_{CG}$  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  $\gamma_G$  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  $\gamma_W$  pour les charges de vent,  $\gamma_I$  pour les charges de givre et  $\gamma_{CV}$  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  $\gamma_G$  pour les charges permanentes,  $\gamma_C$  pour les forces de tension du conducteur et  $\gamma_A$  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  $\gamma_P$  doit être 1,5. Il doit être combiné avec la valeur de 1,3 des facteurs partiels  $\gamma_G$  et  $\gamma_{CG}$  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 $\gamma_G / \gamma_{CG}$	1,3 <sup>b</sup>	1,3 <sup>b</sup>	1,3 <sup>b</sup>	1,3 <sup>b</sup>	1,3 <sup>b</sup>	1,0 <sup>b</sup>
Favorable permanente $\gamma_G / \gamma_{CG}$	1,0 / 0 <sup>a</sup>	1,0 / 0 <sup>a</sup>	1,0 / 0 <sup>a</sup>	1,0 / 0 <sup>a</sup>	1,0 / 0 <sup>a</sup>	1,0 / 0 <sup>a</sup>
Vent $\gamma_W, \gamma_{CV}$	-	1,3 <sup>b</sup>	-	1,3 <sup>b</sup>	-	1,0 <sup>b</sup>
Givre $\gamma_I, \gamma_{CV}$	-	-	1,3 <sup>b</sup>	1,3 <sup>b</sup>	-	-
Accidentelle $\gamma_A$	-	-	-	-	-	1,0
Construction $\gamma_P$	-	-	-	-	1,5	-
<sup>a</sup> Equipement retiré. <sup>b</sup> 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  $\gamma_M$  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  $\gamma_M$  pour l'acier**

Type de structure	$\gamma_M$
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	$\gamma_M$
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  $\gamma_M$  pour les structures en béton**

Type de structure	$\gamma_M$
Force de pré-contrainte <sup>a</sup>	0,90 ou 1,20
Béton	1,50
Acier d'armature (ordinaire ou précontraint)	1,15
<sup>a</sup> 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;

$\gamma_M$  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.

#### **6.5.4.4 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  $\gamma_M$  pour les fondations**

Type de structure	$\gamma_M$
<b>Fondations en dalle</b>	
Résistance d'appui	1,4
Résistance terre et résistance d'appui	1,4
Résistance au glissement	1,1
<b>Fondations avec des pieux</b>	
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.