

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit –

Part 3: Mutual interaction of a.c. and d.c. traction systems

Applications ferroviaires – Installations fixes – Sécurité électrique, mise à la terre et circuit de retour –

Partie 3: Interactions mutuelles entre systèmes de traction en courant alternatif et en courant continu





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 Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

Liens utiles:

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

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit –

Part 3: Mutual interaction of a.c. and d.c. traction systems

Applications ferroviaires – Installations fixes – Sécurité électrique, mise à la terre et circuit de retour –

Partie 3: Interactions mutuelles entre systèmes de traction en courant alternatif et en courant continu

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

V

ICS 45.060

ISBN 978-2-8322-1034-5

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.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Hazards and adverse effects	7
4.1 General.....	7
4.2 Electrical safety of persons	7
5 Types of mutual interaction to be considered.....	7
5.1 General.....	7
5.2 Galvanic coupling.....	8
5.2.1 AC and d.c. return circuits not directly connected	8
5.2.2 AC and d.c. return circuits directly connected or common.....	8
5.3 Non-galvanic coupling	9
5.3.1 Inductive coupling.....	9
5.3.2 Capacitive coupling	9
6 Zone of mutual interaction	9
6.1 General.....	9
6.2 AC.....	9
6.3 DC	10
7 Touch voltage limits for the combination of alternating and direct voltages	10
7.1 General.....	10
7.2 Touch voltage limits for long-term conditions.....	11
7.3 AC system short-term conditions and d.c. system long-term conditions	12
7.4 AC system long-term conditions and d.c. system short-term conditions	13
7.5 AC system short-term conditions and d.c. system short-term conditions	14
7.6 Workshops and similar locations	14
8 Technical requirements and measures inside the zone of mutual interaction	15
8.1 General.....	15
8.2 Requirements if the a.c. railway and the d.c. railway have separate return circuits	15
8.2.1 General	15
8.2.2 Return circuit or parts connected to the return circuit located in the OCLZ and/or CCZ of the other system.....	15
8.2.3 Common buildings and common structures.....	16
8.2.4 Inductive and capacitive coupling	17
8.3 Requirements if the a.c. railway and the d.c. railway have common return circuits and use the same tracks	17
8.3.1 General	17
8.3.2 Measures against stray current.....	17
8.3.3 Common structures and common buildings.....	18
8.3.4 Exceptions.....	18
8.3.5 Design of overhead contact line.....	18
8.3.6 Inductive and capacitive coupling	18
8.4 System separation sections and system separation stations.....	18
Annex A (informative) Zone of mutual interaction	20
Annex B (informative) Analysis of combined voltages	26

Annex C (informative) Analysis and assessment of mutual interaction	31
Bibliography.....	32
Figure 1 – Maximum permissible combined effective touch voltages (excluding workshops and similar locations) for long-term conditions	12
Figure 2 – Maximum permissible combined effective touch voltages under a.c. short-term conditions and d.c. long-term conditions	13
Figure 3 – Maximum permissible combined effective touch voltages under a.c. long-term conditions and d.c. short-term conditions	14
Figure 4 – Maximum permissible combined effective touch voltages in workshops and similar locations excluding short-term conditions.....	15
Figure 5 – Example of where a VLD shall be suitable for both alternating and direct voltage.....	16
Figure A.1 – Overview of voltages coupled as function of distance and soil resistivity I.....	21
Figure A.2 – Overview of voltages coupled as function of distance and soil resistivity II.....	22
Figure A.3 – Relation between length of parallelism and zone of mutual interaction caused by an a.c. railway.....	23
Figure B.1 – Definition of combined peak voltage.....	27
Figure B.2 – Overview of permissible combined a.c. and d.c. voltages.....	28
Figure B.3 – Overview of permissible voltages in case of a duration $\geq 1,0$ s for both a.c. voltage and d.c. voltage	29
Figure B.4 – Permissible voltages in case of a duration of 0,1 s a.c. voltage and a duration of 300 s d.c. voltage.....	30

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RAILWAY APPLICATIONS – FIXED INSTALLATIONS – ELECTRICAL SAFETY, EARTHING AND THE RETURN CIRCUIT –

Part 3: Mutual interaction of a.c. and d.c. traction systems

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 62128-3 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways.

This standard is based on EN 50122-3.

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

FDIS	Report on voting
9/1805/FDIS	9/1838/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.

A list of all parts in the IEC 62128 series, published under the general title *Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit*, can be found on the IEC website.

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

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

RAILWAY APPLICATIONS – FIXED INSTALLATIONS – ELECTRICAL SAFETY, EARTHING AND THE RETURN CIRCUIT –

Part 3: Mutual interaction of a.c. and d.c. traction systems

1 Scope

This part of IEC 62128 specifies requirements for the protective provisions relating to electrical safety in fixed installations, when it is reasonably likely that hazardous voltages or currents will arise for people or equipment, as a result of the mutual interaction of a.c. and d.c. electric traction systems.

It also applies to all aspects of fixed installations that are necessary to ensure electrical safety during maintenance work within electric traction systems.

The mutual interaction can be of any of the following kinds:

- parallel running of a.c. and d.c. electric traction systems;
- crossing of a.c. and d.c. electric traction systems;
- shared use of tracks, buildings or other structures;
- system separation sections between a.c. and d.c. electric traction systems.

Scope is limited to basic frequency voltages and currents and their superposition. This standard does not cover radiated interferences.

This standard applies to all new lines, extensions and to all major revisions to existing lines for the following electric traction systems:

- a) railways;
- b) guided mass transport systems such as:
 - 1) tramways,
 - 2) elevated and underground railways,
 - 3) mountain railways,
 - 4) trolleybus systems, and
 - 5) magnetically levitated systems, which use a contact line system;
- c) material transportation systems.

The standard does not apply to:

- d) mine traction systems in underground mines;
- e) cranes, transportable platforms and similar transportation equipment on rails, temporary structures (e.g. exhibition structures) in so far as these are not supplied directly or via transformers from the contact line system and are not endangered by the traction power supply system for railways;
- f) suspended cable cars;
- g) funicular railways;
- h) procedures or rules for maintenance.

The rules given in this standard can also be applied to mutual interaction with non-electrified tracks, if hazardous voltages or currents can arise from a.c. or d.c. electric traction systems.

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.

IEC 62128-1:2013, *Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit – Part 1: Protective provisions against electric shock*

IEC 62128-2:2013, *Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit – Part 2: Provisions against the effects of stray currents caused by d.c. traction systems*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 62128-1 apply.

4 Hazards and adverse effects

4.1 General

The different requirements specified in IEC 62128-1 and IEC 62128-2, concerning connections to the return circuit of the a.c. railway, and connections to the return circuit of the d.c. railway, shall be harmonized in order to avoid risks of hazardous voltages and stray currents.

Such hazards and risks shall be considered from the start of the planning of any installation which includes both a.c. and d.c. railways. Suitable measures shall be specified for limiting the voltages to the levels given in this standard, while limiting the damaging effects of stray currents in accordance with IEC 62128-2.

Additional adverse effects are possible, for example:

- thermal overload of conductors, screens and sheaths;
- thermal overload of transformers due to magnetic saturation of the cores;
- restriction of operation because of possible effects on the safety and correct functioning of signalling systems;
- restriction of operation because of malfunction of the communication system.

These effects should be considered in accordance with the appropriate standards.

4.2 Electrical safety of persons

Where a.c. and d.c. voltages are present together the limits for touch voltage given in Clause 7 apply in addition to the limits given in IEC 62128-1:2013, Clause 9.

5 Types of mutual interaction to be considered

5.1 General

Coupling describes the physical process of transmission of energy from a source to a susceptible device.

The following types of coupling shall be considered:

- a) galvanic (conductive) coupling;
- b) non-galvanic coupling;
 - 1) inductive coupling;
 - 2) capacitive coupling.

Galvanic coupling dominates at low frequencies, when circuit impedances are low. The effects of galvanic coupling are conductive voltages and currents.

The effects of inductive coupling are induced voltages and hence currents. These voltages and currents depend *inter alia* on the distances, length, inducing current conductor arrangement and frequency.

The effects of capacitive coupling are influenced voltages into galvanically separated parts or conductors. The influenced voltages depend *inter alia* on the voltage of the influencing system and the distance. Currents resulting from capacitive coupling also depend on the frequency.

NOTE As far as the capacitive and inductive coupling is concerned, general experience is that only the influence of the a.c. railway to the d.c. railway is significant.

5.2 Galvanic coupling

5.2.1 AC and d.c. return circuits not directly connected

A mutual interaction between the return circuits is possible by currents through earth caused by the rail potential of both a.c. and d.c. railways, for example return currents flowing through the return conductors, earthing installations of traction power supply substations and cable screens.

In case a conductive parallel path to the return circuit exists in the influenced system, various effects are possible. In case a vehicle forms part of the parallel path, return current of the influencing railway system can flow through the propulsion system of the traction unit. The same effects are possible when the return current of the influencing system flows, for example, through the auto-transformer and substation transformer of an auto-transformer system or through booster transformers or other devices.

An electric shock with combined voltages can occur when parts of the return circuits or conductive parts which are connected to the return circuits by voltage limiting devices are located in the overhead contact line zone of the other railway system, see 8.2.2.

5.2.2 AC and d.c. return circuits directly connected or common

In addition to the effects described in 5.2.1 current exchange will be increased where a.c. and d.c. return circuits are directly connected or common.

EXAMPLE Direct connections can be railway level crossings, common tracks, system separation sections, etc.

Currents flowing between the a.c. railway and the d.c. railway can create mutual interaction between the return circuits.

Both return circuits are at the same potential at the location of the connection. A short-circuit within the a.c. system can cause a peak voltage on conductive structures connected to the return circuit of the d.c. railway. The same effects apply for conductive structures connected to it directly or via a voltage limiting device (VLD). The voltage across the voltage limiting device can trip the device without a fault on the d.c. side.

The connection of the return circuit of the d.c. railway to the earthed return circuit of the a.c. railway increases the danger of stray current corrosion.

For requirements for fixed installations see 8.3.

5.3 Non-galvanic coupling

5.3.1 Inductive coupling

An a.c. voltage can be induced on a d.c. contact line system and on the d.c. system's return circuit. This effect needs to be considered in case the d.c. railway is within the zone of mutual interaction.

Consequently an a.c. voltage can occur within the d.c. substation at the busbars versus earth (i.e. at the rectifier or in the feeder cubicles).

Interaction can occur in terms of impermissible touch voltages. See Clause 7.

Perpendicular crossings do not result in inductive effects in the d.c. system.

5.3.2 Capacitive coupling

Within small distances an a.c. voltage can be influenced on a d.c. contact line system when it is isolated with a disconnector or circuit-breaker open. The possibility shall be considered that the flash-over voltage of the insulators or of the surge arrestors can be reached.

Distance depends *inter alia* on geometry and voltage.

An a.c. voltage can occur within the d.c. substation at the d.c. busbars versus earth, i.e. in the feeder cubicles.

Interaction can occur in terms of impermissible touch voltages. See Clause 7.

6 Zone of mutual interaction

6.1 General

The a.c. railway affects the d.c. railway and vice-versa by galvanic, inductive and/or capacitive coupling (see Clause 5). The zone of mutual interaction indicates a distance and a length of parallelism between an a.c. railway and a d.c. railway (see Annex A). The limits of zone of mutual interaction are based on the limits of the touch voltage given in Clause 7.

If a zone of mutual interaction exists the requirements given in this standard shall be fulfilled.

When the distance between both a.c. and d.c. railways is less than 50 m a zone of mutual interaction is assumed. Distances in excess of 50 m are dealt with in 6.2 and 6.3.

When the distance between a.c. and d.c. railways becomes less than 50 m effects as described in 5.2.1 or even 5.2.2 can be expected.

Distances between a.c. railway and the d.c. railway cannot be given in a generic way and should be addressed separately depending on the local conditions.

NOTE For information on analysis and assessment of zone of mutual interaction see Annex C.

6.2 AC

In case of an a.c. railway influencing a d.c. railway the zone of mutual interaction is based on voltages coupled into the affected system.

For planning purposes the zone of mutual interaction has to be investigated either by calculation or by the following procedure.

Where the following preconditions apply the limit of the distance between a.c. and d.c. railway is 1 000 m:

- double track line, where only the four running rails of the a.c. railway are used for the return circuit;
- the inducing current is 500 A per overhead contact line (1 000 A in total);
- the length of parallelism between a.c. and d.c. railway is 4 km;
- the soil resistivity is 100 Ωm;
- the rated frequency is 50 Hz;
- the affected system is insulated versus earth along its entire length and connected to earth at one end only;
- screening effects of other parallel metallic objects have not been taken into account.

Where other preconditions apply the dimension of the zone of mutual interaction shall be calculated.

A method for the calculation is given in Annex A.

NOTE The example above is based on a 35 V limit for a.c. with a time duration longer than 300 s.

In case a d.c. railway is within the zone of mutual interaction of an a.c. railway, the level of voltages or currents coupled into the d.c. system is not necessarily too high; in this case further analysis of the situation shall be carried out.

6.3 DC

For the effects of d.c. railway systems on a.c. railway systems the dimension of the zone of mutual interaction can be neglected due to the steep voltage gradient in the soil, caused by the insulated rails.

However if the possibility of a voltage transfer exists, either permanently or temporary, due to a galvanic connection towards conductive or partly conductive parts, the zone of mutual interaction is given by the dimensions of those parts. In this case the level of voltages or currents coupled into the a.c. system is not necessarily too high; further analysis of the situation shall be carried out.

7 Touch voltage limits for the combination of alternating and direct voltages

7.1 General

The limits given in 7.2 to 7.6 are based on touch voltage only and shall not be exceeded. Other effects with respect to electrical installations are not taken into account.

Limits for electrical installations cannot be given in a generic way and should be addressed separately if necessary, depending on the sensitivity of the affected installations.

Where either an alternating or a direct voltage is present the touch voltage limits given in IEC 62128-1 apply.

The direct and the alternating components of a combined voltage $u(t)$ for time duration in excess of 1 s are calculated as follows:

$$U_{dc} = \frac{1}{T} \cdot \int_a^{a+T} u(t) \cdot dt \quad (1)$$

$$U_{ac} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_a^{a+T} (u(t) - U_{dc})^2 \cdot dt} \quad (2)$$

where

T = 1 s;

t is the time;

$u(t)$ is the combined voltage;

U_{dc} is the direct component of combined voltage;

U_{ac} is the alternating component of combined voltage.

NOTE 1 Formula (1) gives the moving average value of the direct component, Formula (2) gives the moving r.m.s. value of the alternating component.

Only for short-duration phenomena $t \leq 1$ s the following definitions for alternating voltage and direct voltage are used:

- U_{dc} is defined as that part of the combined voltage that is caused by the d.c. system;
- U_{ac} is defined as that part of the combined voltage that is caused by the a.c. system.

NOTE 2 Further information on combined voltages is given in Annex B.

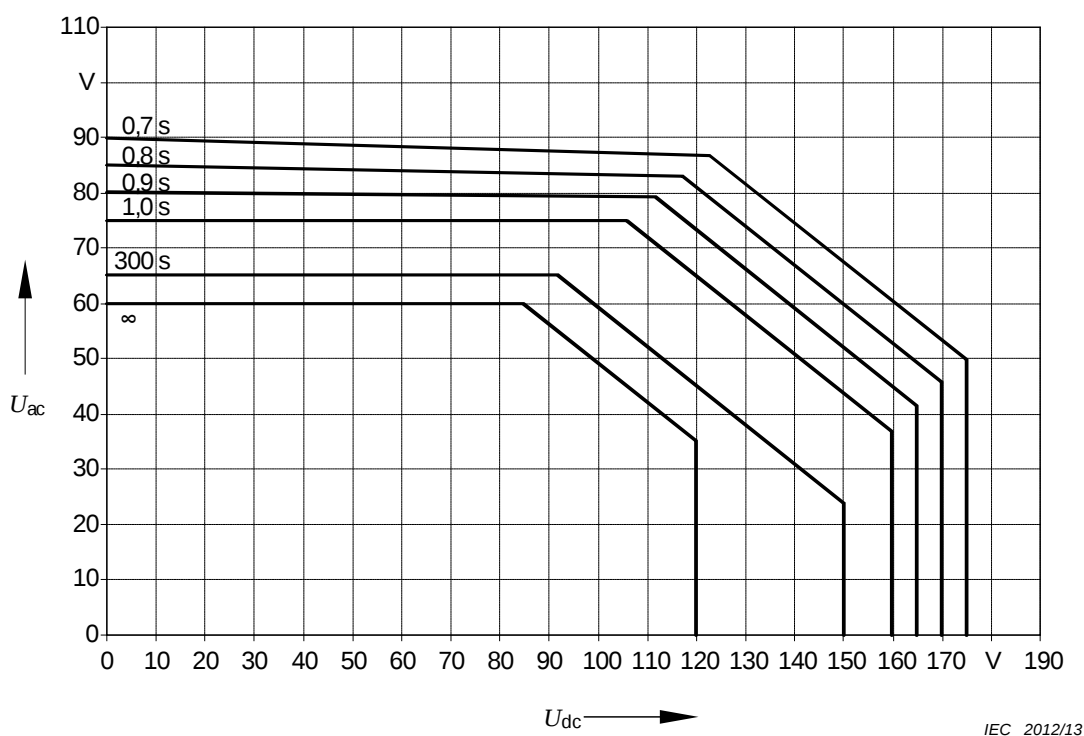
NOTE 3 Long-term conditions are associated with operation conditions and short-term conditions are associated with fault conditions or for example switching operations.

7.2 Touch voltage limits for long-term conditions

The following approach shall be used to check whether the combined voltage is permissible:

- a) the alternating part of the combined voltage shall not exceed the maximum permissible alternating body voltage as given in IEC 62128-1, Table 3 for the applicable duration;
- b) the direct part of the combined voltage shall not exceed the maximum permissible direct body voltage as given in IEC 62128-1, Table 5 for the applicable duration;
- c) the combined voltage is permissible if it is within the envelope as given for the applicable duration in Figure 1;
- d) for time durations in excess of 1 s the combined peak value (see explanation in Annex B) shall be less than $2 \times \sqrt{2}$ times the maximum permissible alternating body voltage as given in IEC 62128-1, Table 3 for the applicable duration irrespective of frequency content.

EXAMPLE Assuming the maximum permissible direct touch voltage of 120 V being present in the d.c. system the alternating voltage limit is 35 V, see Figure 1. Assuming the maximum permissible alternating touch voltage of 60 V being present in the a.c. system the direct voltage limit is 85 V, see Figure 1.



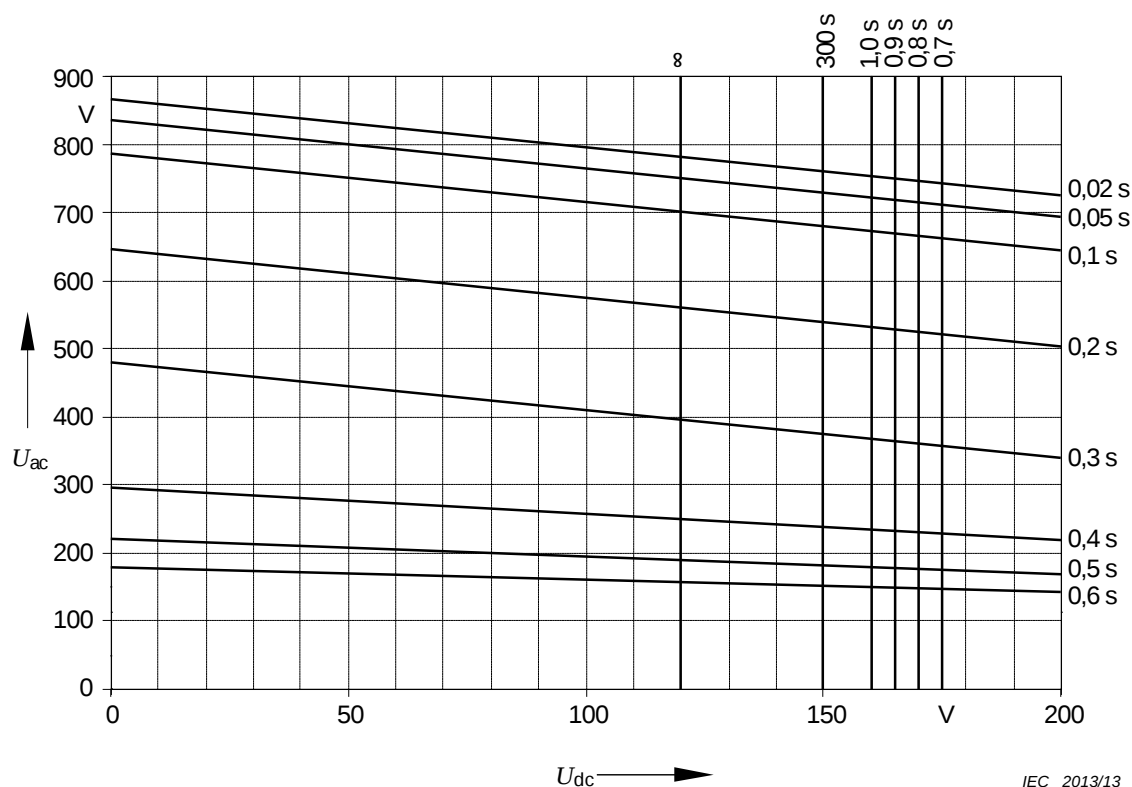
All values are r.m.s.

Figure 1 – Maximum permissible combined effective touch voltages (excluding workshops and similar locations) for long-term conditions

7.3 AC system short-term conditions and d.c. system long-term conditions

The following approach shall be used to check whether the combined voltage is permissible:

- the short-duration alternating part of the combined voltage shall not exceed the maximum permissible alternating touch voltage as given in IEC 62128-1, Table 4 for the applicable duration;
- the direct part of the combined voltage shall not exceed the maximum permissible direct touch voltage as given in IEC 62128-1, Table 6 for the applicable duration;
- the combined voltage is permissible if it is within the envelope as given for the applicable durations in Figure 2.



All values are r.m.s.

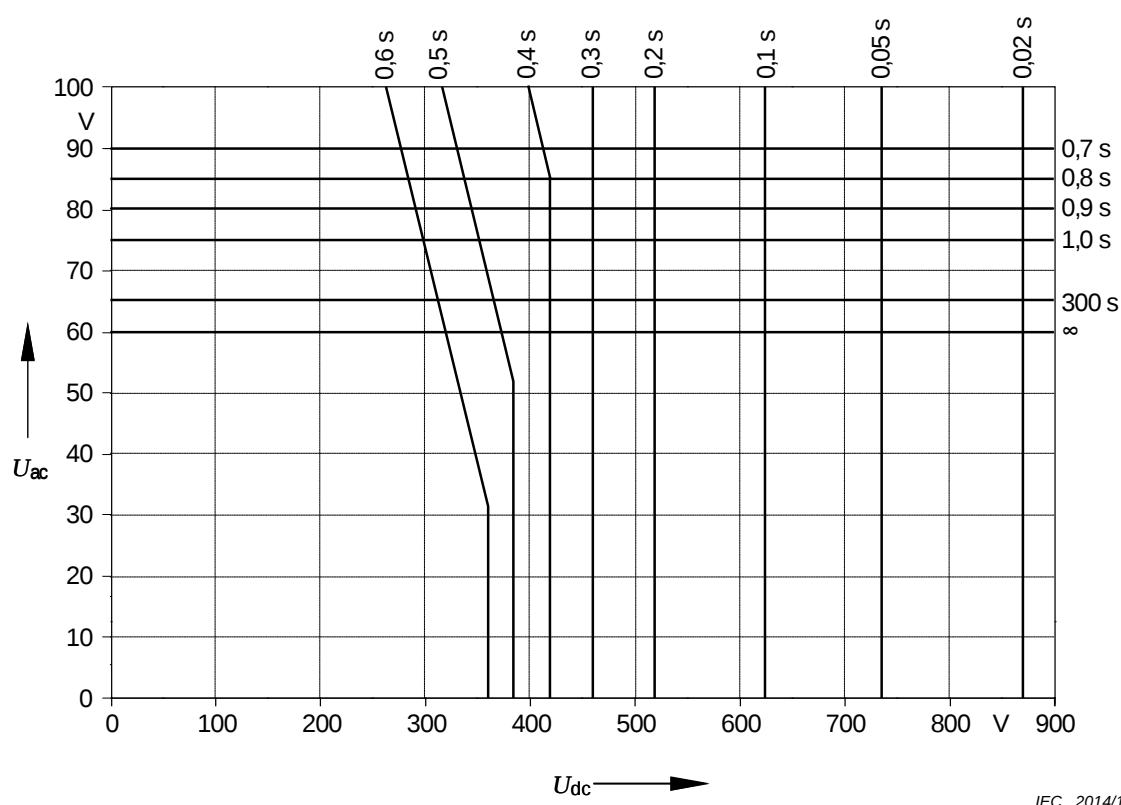
Figure 2 – Maximum permissible combined effective touch voltages under a.c. short-term conditions and d.c. long-term conditions

EXAMPLE An example of the use of Figure 2 is given in Annex B.

7.4 AC system long-term conditions and d.c. system short-term conditions

The following approach shall be used to check whether the combined voltage is permissible:

- the alternating part of the combined voltage shall not exceed the maximum permissible alternating touch voltage as given in IEC 62128-1, Table 4 for the applicable duration;
- the short-duration direct part of the combined voltage shall not exceed the maximum permissible direct touch voltage as given in IEC 62128-1, Table 6 for the applicable duration;
- the combined voltage is permissible if it is within the envelope as given for the applicable durations in Figure 3.



All values are r.m.s.

Figure 3 – Maximum permissible combined effective touch voltages under a.c. long-term conditions and d.c. short-term conditions

7.5 AC system short-term conditions and d.c. system short-term conditions

Simultaneous short-term phenomena in the a.c. system and in the d.c. system do not need to be considered.

NOTE It is unlikely that short-term phenomena occur at the same time in both the a.c. system and the d.c. system, and that the return circuit is touched at the same moment.

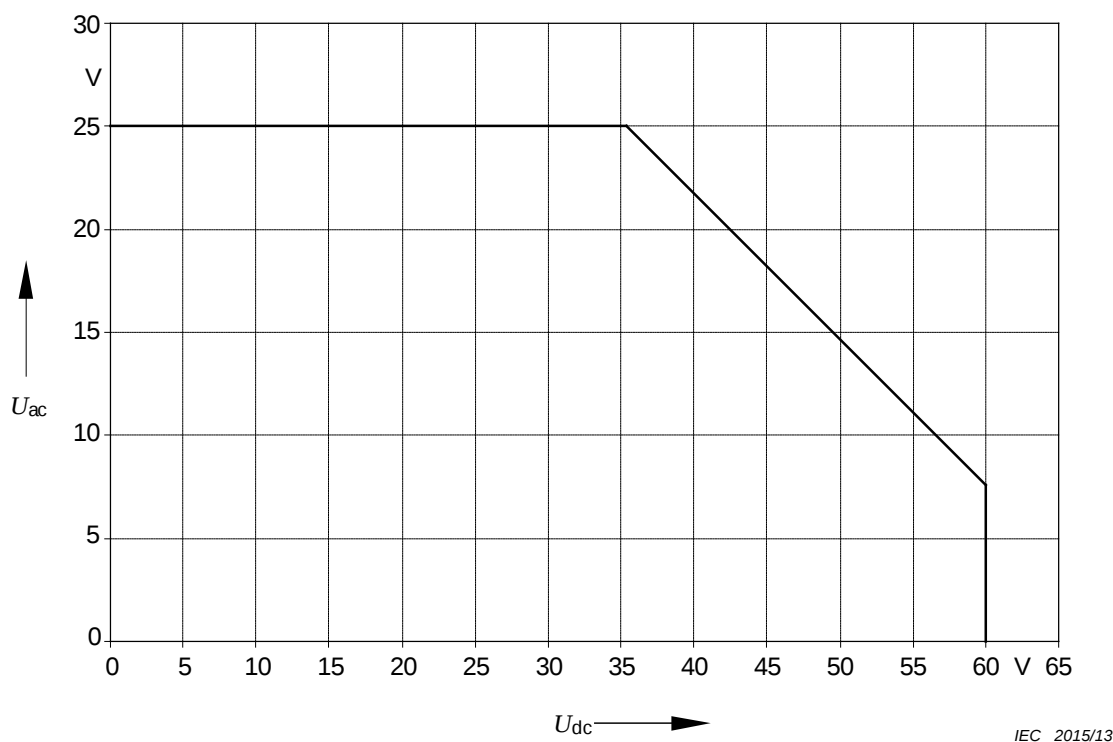
7.6 Workshops and similar locations

For long-term conditions the following approach shall be used to check whether the combined voltage is permissible:

- the alternating part of the combined voltage shall comply with IEC 62128-1, 9.2.2.3;
- the direct part of the combined voltage shall comply with IEC 62128-1, 9.3.2.3;
- the combined voltage is permissible if it is within the envelope as defined in Figure 4.

For short-term conditions 7.3, 7.4 and 7.5 apply.

EXAMPLE Assuming the maximum permissible direct touch voltage of 60 V being present in the d.c. system the alternating voltage limit is 8 V. Assuming the maximum permissible alternating touch voltage of 25 V being present in the a.c. system the direct voltage limit is 35 V, see Figure 4.



All values are r.m.s.

Figure 4 – Maximum permissible combined effective touch voltages in workshops and similar locations excluding short-term conditions

8 Technical requirements and measures inside the zone of mutual interaction

8.1 General

All installations shall comply with the requirements of IEC 62128-1 and IEC 62128-2. Additional provisions are described below.

8.2 Requirements if the a.c. railway and the d.c. railway have separate return circuits

8.2.1 General

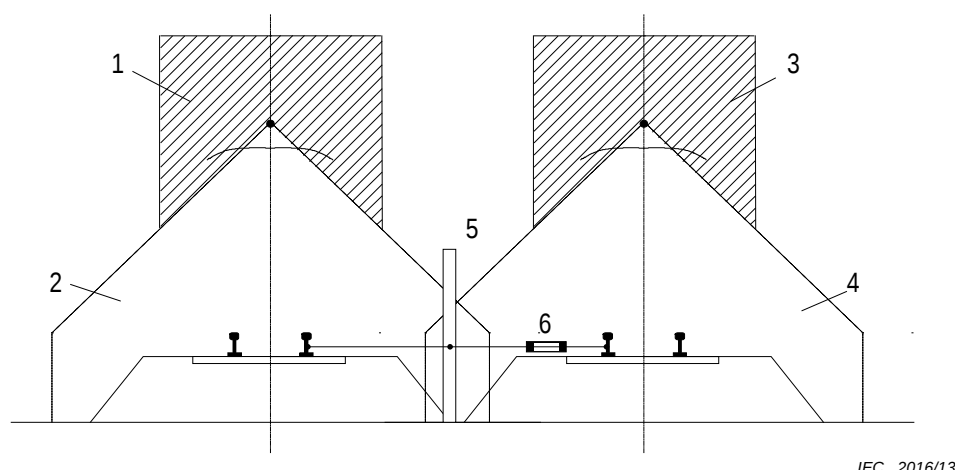
This subclause applies if there is no return circuit connection between the a.c. railway and the d.c. railway.

8.2.2 Return circuit or parts connected to the return circuit located in the OCLZ and/or CCZ of the other system

An assessment shall be made of whether the application of IEC 62128-1, Clause 6 will require conductive connections to be made between the return circuit of the a.c. railway and the return circuit of the d.c. railway. If such connections are required, then the voltage-limiting devices which are required by IEC 62128-1, 6.2.2 shall be specified to detect and operate with alternating voltages and currents in addition to direct voltages and currents, so that compliance is achieved with Clause 7 of this standard. See IEC 62128-1, Annex F.

If the return circuit, parts connected to the return circuit or the vehicles of the a.c. railway are within the overhead contact line zone or the current collector zone of the d.c. railway, or vice versa, then voltage-limiting devices (minimum function VLD-F) shall be connected between the return circuit of the d.c. railway and the return circuit of the a.c. railway.

EXAMPLE See Figure 5.



Key

- 1 current collector zone of a.c. line
- 2 overhead contact line zone of a.c. line
- 3 current collector zone of d.c. line
- 4 overhead contact line zone of d.c. line
- 5 fence or other conductive part (bonded to the return circuit of the a.c. line)
- 6 voltage limiting device

Figure 5 – Example of where a VLD shall be suitable for both alternating and direct voltage

The design of the systems shall be such that the voltage-limiting devices will not conduct during operating conditions in order to meet the requirements of IEC 62128-2.

The risks associated with the conductive state of voltage-limiting devices shall be assessed.

8.2.3 Common buildings and common structures

8.2.3.1 Selection of the strategy for earthing

An assessment shall be made, at an early planning stage, whether it is desirable and possible to separate the part of the structure earth associated with the a.c. railway from the part of the structure earth associated with the d.c. railway, and to separate either part of the structure earth from earthing systems outside the common building or structure. In all cases the paths taken by earth fault current from the a.c. contact line and the d.c. contact line shall be identified, and conductors of sufficient cross-sectional area shall be provided. See IEC 62128-1, Clause 7 for non-traction power supplies.

8.2.3.2 Separation of structure earths

If the structure earths are separated, then insulating gaps or joints are required.

To prevent bypassing of the insulating gaps, PE conductors of electricity supply cables, the screens of communications cables, metal pipes and similar items which pass from one part of the building to another, or enter the building from outside require an insulating joint. The insulating gaps and relating equipment shall be installed at the borders of the separated structure earths. The relevant systems shall be designed so that they will function safely when the insulating gaps are in place.

Where it is necessary to include insulating gaps in underground parts of the building, the insulating sections shall be of sufficient length that significant current will not flow past them by conduction through the soil.

It has been found that a distance of 1 m is sufficient if the resistivity of the soil is greater than 500 Ωm ; otherwise a distance of 2 m is required.

Provision should be made to detect unintended connections between the two structure earths.

8.2.3.3 Common structure earth

If the structure earths are connected, then attention shall be paid to the risk of stray currents in the a.c. railway and in the earthing systems outside the railway structures. See IEC 62128-2, Clause 7.

Provision should be made to detect the possible danger caused by stray currents in the a.c. railway, the structure earth and the outside earths. See IEC 62128-2, Clause 10.

8.2.4 Inductive and capacitive coupling

The voltages induced or influenced by the a.c. railway into the contact lines and cables of the d.c. railway, and the voltages induced into the rails and cables beside the d.c. railway, shall be evaluated and corrective measures shall be applied as needed.

NOTE The rails of the d.c. railway can pick up significant induced voltages if they are well insulated from the earth according to IEC 62128-1. Communication circuits beside the d.c. railway can need the same kind of measures as are needed by the communication circuits beside the a.c. railway.

Precautions shall be taken against excessive a.c. voltages on the d.c. contact lines when they are disconnected from the substations and are not earthed.

When assessing compliance, the indivisible sub-section of the d.c. contact line which is most closely coupled with the a.c. railway shall be considered. The voltages coupled into the d.c. system shall be taken into consideration in the design of the d.c. system.

8.3 Requirements if the a.c. railway and the d.c. railway have common return circuits and use the same tracks

8.3.1 General

This subclause applies to a.c. and d.c. electric traction systems on the same tracks as well as to level crossings between an a.c. railway and a d.c. railway.

8.3.2 Measures against stray current

Measures shall be applied to prevent the flow of significantly damaging levels of stray current between the tracks electrified only with a.c. and the tracks electrified only with d.c. The running rails of the tracks equipped with both systems shall be insulated from the earth in accordance with IEC 62128-2, 6.4. The connections which are required by IEC 62128-1, 6.2, shall be made using voltage-limiting devices (VLD) which can conduct both a.c. and d.c. The voltage-limiting devices shall be applied in accordance with IEC 62128-1, Annex F.

EXAMPLE Examples in accordance with IEC 62128-1, 6.2 are the connections via VLD from the running rails to the contact line supports and the structure earth, which are required by the presence of high-voltage contact lines.

The design of the railway traction power supply systems shall be such that the voltage-limiting devices will not conduct except during extraordinary operating conditions in order to meet the requirements of IEC 62128-2.

The risks associated with the conductive state of voltage-limiting devices shall be assessed.

The above measures cause a lack of earthing of the tracks. Therefore special measures can be necessary in order to achieve sufficiently low alternating voltages on the running rails.

Such measures can include the use of isolating transformers, booster transformers and return conductors insulated from earth.

NOTE Experience shows that a practical design can be produced if the alternating voltage and the direct voltage on the rail are each significantly less than 25 V as r.m.s. value for 1 min, and significantly below 10 V as r.m.s. value over 30 min.

8.3.3 Common structures and common buildings

The requirements of 8.2.3 apply equally where a.c and d.c electric traction systems are provided on the same tracks, except that the separation of the structure earth into an a.c. part and a d.c. part is not relevant.

Particular attention shall be given to the risks of stray current in structures, electrical earthing systems, pipes and similar items outside the common building.

8.3.4 Exceptions

The requirements of 8.3.2 and 8.3.3 can be reduced if it is shown that significant damage by stray current will not occur if the running rails of the d.c. system are earthed as for the a.c. system.

Such exception can be possible if at least one of the following preconditions applies:

- the d.c. traction system uses an insulated return conductor rail (for example the “fourth rail”) for the traction return current;
- the d.c. system has a low voltage drop along the running rails for example due to low traction current or short length of feeding sections, see also IEC 62128-2; a possible measure is also to provide insulated return conductors in parallel with the running rails;
- the tracks equipped with both systems are separated electrically from the remainder of the d.c. system by means of insulating rail joints and related equipment;
- duration of use of buildings is shorter than the period until the occurrence of expected damages, this includes structures owned by third parties.

8.3.5 Design of overhead contact line

The probability that a live a.c. conductor would fall onto a live d.c. conductor or vice-versa shall be minimised by design.

This includes the avoidance of flash-over of insulators or between both systems.

8.3.6 Inductive and capacitive coupling

Where a.c. and d.c. electric traction systems are installed on the same tracks 8.2.4 applies equally.

8.4 System separation sections and system separation stations

The transfer of stray currents shall be limited in accordance with IEC 62128-2. The touch voltages shall comply with Clause 7.

The basic requirements are:

- to ensure the continuity of the return circuit for both alternating current and direct current, in all operating and fault conditions,
- to prevent electrical connections between the a.c. contact lines and the d.c. contact lines,
- to limit the current between the a.c. return circuit and the d.c. return circuit.

A suitable way to limit the exchange of return current between the two systems is to use insulating rail joints in conjunction with special feeding and switching arrangements.

If insulating rail joints are used, the voltage across them shall be limited in order to avoid impermissible touch voltages.

NOTE The voltages across insulating rail joints will be bridged by the vehicles.

System separation stations shall be treated as specified in 8.3.

Annex A (informative)

Zone of mutual interaction

A.1 General

This annex gives information on how to determine the dimensions of the zone of mutual interaction. The purpose is not to calculate accurately the voltage coupled into the d.c. system due to an adjacent a.c. system.

A.2 AC system as source

A.2.1 Main parameters

The zone of mutual interaction from a.c. to d.c. is based on permissible voltages coupled into the affected d.c. railway system.

For the width of the zone of mutual interaction the following main parameters are of importance:

- a) type of traction power supply system used, either:
 - 1) standard system where only the running rails are used for traction return current,
 - 2) booster transformer system,
 - 3) auto transformer system;
- b) additional return conductors;
- c) inducing traction current;
- d) length of parallelism;
- e) geometry and distance between railways in case when railways are not exactly parallel;
- f) soil resistivity;
- g) fundamental frequency (e.g. 16,7 Hz, 50 Hz or 60 Hz);
- h) screening by other metallic structures or effects of conductance to earth of the running rails, etc.

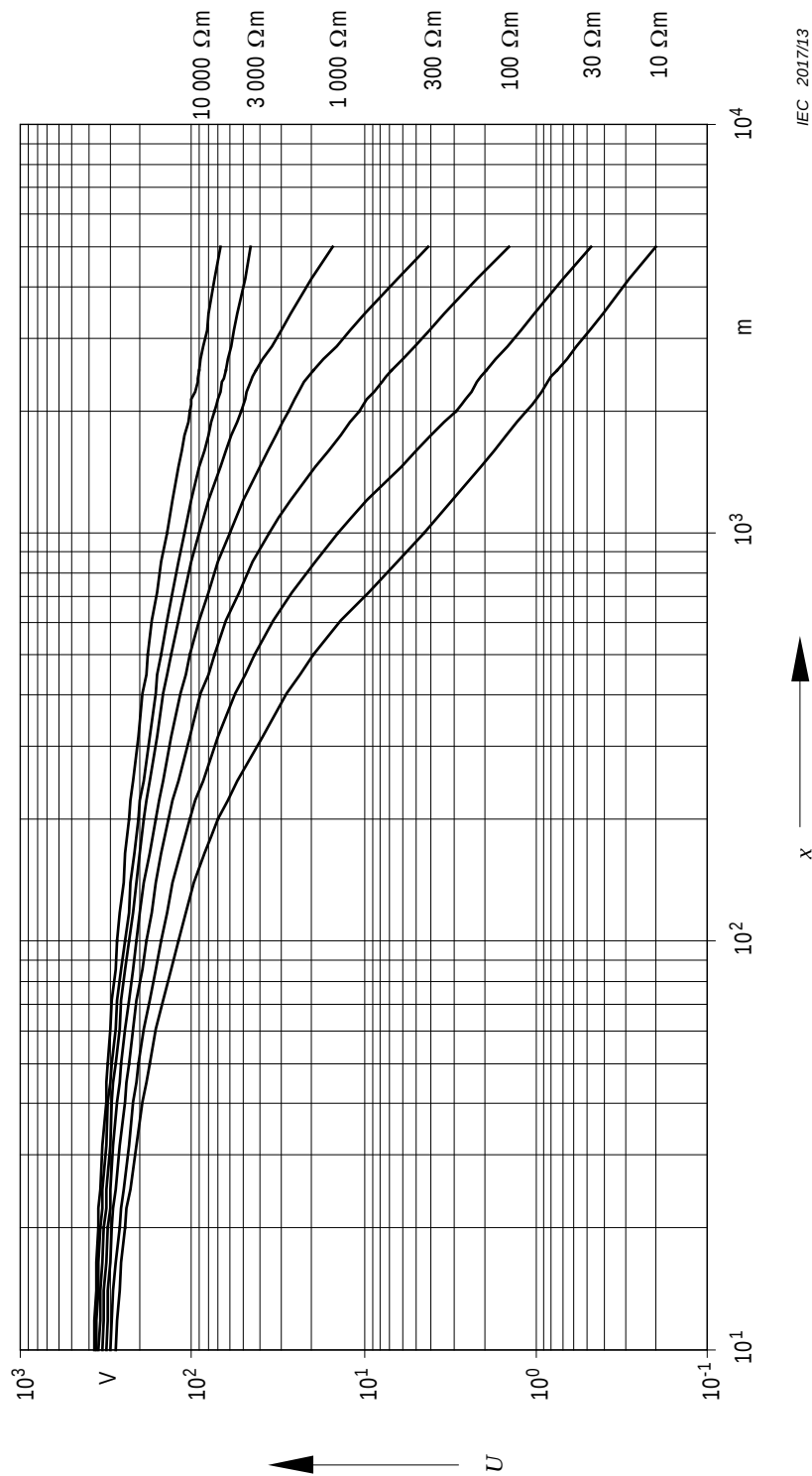
A.2.2 Basic analysis

For the basic evaluation the following basic parameters are used:

- double track line, where only the four running rails are used for the return circuit;
- the inducing current is 500 A per overhead contact line (1 000 A in total);
- the length of parallelism is assumed to be 4 km;
- the soil resistivity is variable between 10 Ωm and 10 000 Ωm ;
- the fundamental frequency is 50 Hz.

The induced voltage in a system, insulated versus earth and connected to earth at one end only, has been calculated for various soil resistivities and distances, see Figure A.1 (double logarithmic scale) and Figure A.2 (similar to Figure A.1, but linear scales). For the parameters given above and a soil resistivity of 100 Ωm the zone of mutual interaction is 1 000 m.

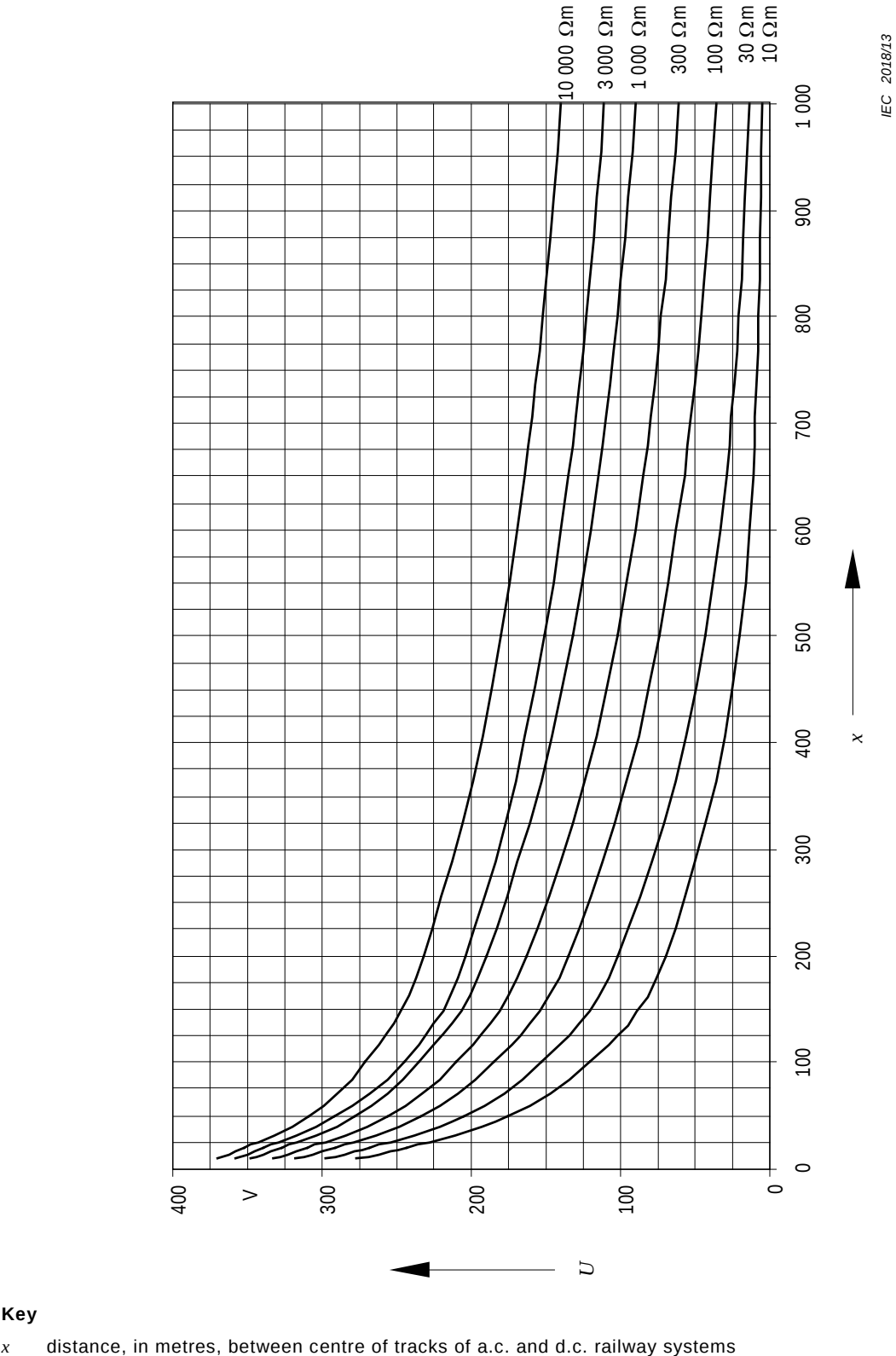
An example of the relation between the length of parallelism and the zone of mutual interaction can be found in Figure A.3.

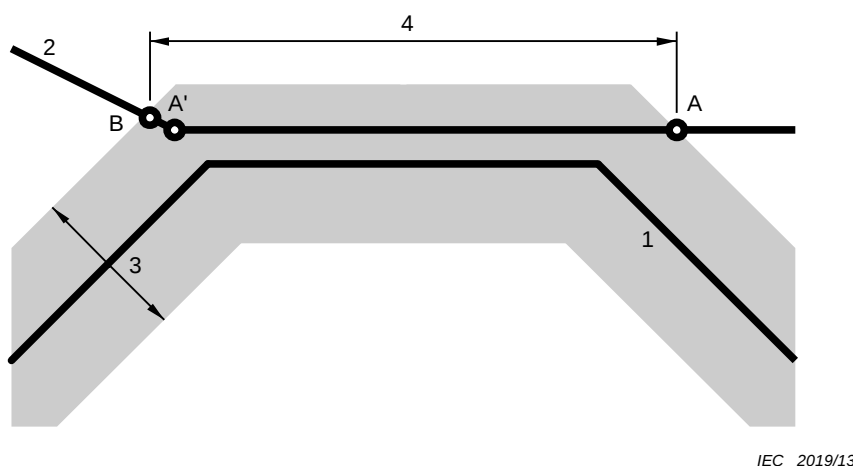


Key

x distance between centre of tracks of a.c. and d.c. railway systems

Figure A.1 – Overview of voltages coupled as function of distance and soil resistivity ρ



**Key**

- 1 a.c. railway
- 2 d.c. railway
- 3 zone of mutual interaction caused by a.c. railway
- 4 length of parallelism

Figure A.3 – Relation between length of parallelism and zone of mutual interaction caused by an a.c. railway

A.2.3 Parameter variations

In case the parameters of the system under study differ from the values used for the derivation of the zone of mutual interaction in 6.2, the voltage coupled in the d.c. system can be approximated, using Figure A.1 and Figure A.2.

The voltage coupled into the d.c. system is linear with respect to:

- the inducing traction current,
- the length of parallelism.

The voltage coupled into the d.c. system is by approximation linear with respect to:

- the fundamental frequency (e.g. 16,7 Hz, 50 Hz or 60 Hz).

The voltage coupled into the d.c. system depends also on:

- the distance between both electric traction systems,
- the type of the a.c. traction system,
- the presence of return conductors,
- the screening by other metallic structures or effects of conductance to earth of the running rails, etc., the so-called civilisation factor.

NOTE 1 It has been found by experience that the induced voltages in densely populated areas are lower than predicted by the basic theory, because of additional screening provided by earthed conductive structures, buried water pipes and similar items, parallel to the railway system. Also the conductance towards earth of the object under consideration has a mitigating effect.

NOTE 2 Generic specific factors for the comparison of different electric traction systems for example with or without auto-transformers and/or booster transformers cannot be given as the voltage coupled depends on load position, positions of substations, auto-transformers and/or booster transformers.

The approach used in this annex is based on an affected system which is insulated versus earth along its entire length and connected to earth at one end only. In case of not complete insulation, e.g. d.c. running rails, the conductance to earth of the running rails may be taken into account, also see the civilization factor.

The above leads to the following correction factors:

- a) current correction factor: $C_I = I_{trc}$ in kA divided by 1 kA;
- b) length of parallelism correction factor: $C_L = L_{//}$ in km divided by 4 km;
- c) frequency correction factor: $C_f = 0,3$ for 16,7 Hz,
 $C_f = 1,0$ for 50 Hz;
 $C_f = 1,2$ for 60 Hz;
- d) system correction factor:
 - 1) standard system correction factor: $C_S = 1,0$;
 - 2) return conductor presence correction factor: $C_S = 0,4 \dots 0,7$ are typical values;
 - 3) auto-transformer or booster transformer system correction factor: $C_S = 0,1 \dots 0,4$ are typical values;
- e) civilisation factor: $C_C = 0,1 \dots 0,5$ are typical values.

Using the applicable correction factors, soil resistivity and distance for the graphs in Figure A.1 and Figure A.2 the voltage coupled into the d.c. system can be approximated using Formula (A.1):

$$U_{coupled} = C_I \times C_L \times C_f \times C_S \times C_C \times U_{graph}(\rho, d) \quad (A.1)$$

where

$U_{graph}(\rho, d)$ is the 50 Hz voltage for the applicable soil resistivity at the given distance.

Using Formula (A.1) and the graphs in Figure A.1 and Figure A.2 the zone of mutual interaction for other systems can be approximated.

I_{trc} is the current in the considered contact line system section averaged along the length of parallelism.

The value of the system correction factor for return conductor presence decreases with increasing frequency.

EXAMPLE 1 Task: Calculate the distance between the tracks of an a.c. railway and a d.c. railway for the zone of mutual interaction in case of a system with return conductors, a length of parallelism of 3,0 km, an average traction current of 0,5 kA with a frequency of 50 Hz and a soil resistivity of 300 Ωm . For the reference a.c. system of 6.2 with a soil resistivity of 300 Ωm a distance of 1 700 m is needed to obtain a value of 35 V, as given by Figure A.1. However in this case the voltage has to be corrected by a factor of $0,5 \times 0,75 \times 1 \times 0,45 \times 1 = 0,17$. Using the graph in Figure A.2 for 300 Ωm and the value of 210 V ($\approx 35 V / 0,17$) a distance of 100 m is found.

EXAMPLE 2 Task: Calculate the maximum length of parallelism for the tracks of an a.c. railway and a d.c. railway of the zone of mutual interaction in case of a standard system with a distance of 10 m between a.c. railway and d.c. railway, an average traction current of 2,0 kA with a frequency of 16,7 Hz and a soil resistivity of 1 000 Ωm in an urban environment for a voltage coupled in of 35 V. A civilisation factor of 0,3 is assumed. The result is a correction factor of $2 \times 0,334 \times 1 \times 0,3 = 0,2$. Using the graph in Figure A.2 for a distance of 10 m and for a soil resistivity of 1 000 Ωm a value of 350 V is found. Using the correction factor 0,2 the result is a value of 70 V for 4 000 m length of parallelism. This gives a length of 2 000 m to obtain 35 V.

A.3 DC system as source

In general the influence of a d.c. railway system on an a.c. system with respect to voltages coupled in the a.c. system is small. Due to the insulation of the return circuit from the soil, the voltage gradient close to the rail is steep, mainly across the insulation of the rail fastenings. Further away in the soil it is small. Hence, in comparison to a.c. systems the zone of mutual interaction is considerably smaller.

If due to galvanic coupling, either by conductive or partly conductive parts a voltage transfer is possible, either permanent or temporary, the dimension of zone of mutual interaction is identical with the dimension of conductive or partially conductive parts.

When the distance of the return circuits of both a.c. railway and d.c. railway becomes less than 50 m the same effects as described in 5.2.2 are expected.

Annex B (informative)

Analysis of combined voltages

IEC 62128-1 deals with the impact on human beings of a.c. and d.c. systems separately, taking into account fundamental frequencies only. In this annex the effects of combined voltages are analysed.

Where an a.c. voltage and a d.c. voltage are present together, a method based on the following principle can be employed to decide whether the combined effect of the a.c. voltage and the d.c. voltage is permissible or not.

The important property of the wave-form is the combined peak value which for this purpose is defined as the largest of:

- a) the positive peak value relative to 0 V,
- b) the absolute value of the negative peak value relative to 0 V,
- c) the peak-to-peak value.

These quantities are explained in Figure B.1.

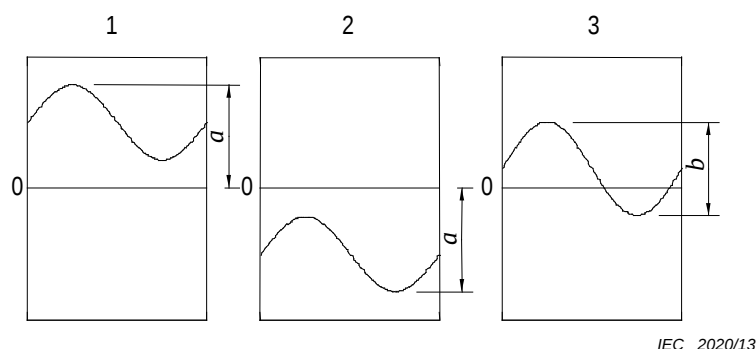
As stated in Clause 7, for a duration $t > 1,0$ s the voltage is permissible if the combined peak value of the wave-form is less than the permissible r.m.s. value of the alternating voltage according to IEC 62128-1, multiplied by $2 \times \sqrt{2}$ and the direct component of the wave-form does not exceed the permissible direct voltage according to IEC 62128-1 .

The duration of the alternating voltage and the duration of the direct voltage is taken into account when deducing the permissible alternating voltage and direct voltage using the values given in IEC 62128-1.

The combined peak value includes also the effects of higher frequencies. If the crest factor (crest factor = peak value divided by r.m.s. value) of the a.c. part of the combined peak value is larger than $\sqrt{2}$, the effects are taken into account.

In case an r.m.s. value is found for the alternating component, the crest factor is determined and the r.m.s. value of the alternating component as has been found is multiplied by a crest correction factor. The crest correction factor is the crest factor divided by $\sqrt{2}$. If the crest correction factor is smaller than 1, then it becomes equal to 1. The crest factor is the peak value of the voltage divided by the r.m.s. value of the voltage.

In case of simulations, usually frequency components are found without phase relation. In this case the peak value of the alternating component is determined by adding the peak values of the individual frequency components of the alternating component. Based on this peak value the crest factor and the crest correction factor are determined. In case phase information is available, this can be used.

**Key**

- 1 positive peak value relative to 0 V
- 2 absolute value of the negative peak value relative to 0 V
- 3 peak-to-peak value
- a* peak
- b* peak-peak

Figure B.1 – Definition of combined peak voltage

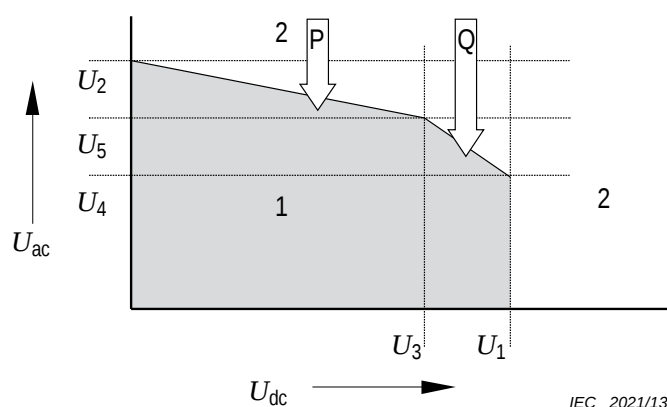
In general the three following conditions have to be complied with to fulfil the safety of persons for a combined touch voltage:

- d) the r.m.s. alternating part taking into consideration the correction factor of the combined voltage has to be lower than the alternating voltage r.m.s. limit as given in IEC 62128-1 for the applicable duration;
- e) the direct part of the combined voltage is lower than the direct voltage limit as given in IEC 62128-1 for the applicable duration;
- f) the combined voltage is lower than the alternating voltage limit multiplied with a factor depending on the time duration:
 - 1) $t < 0,3$ s factor is $\sqrt{2}$;
 - 2) $t > 1,0$ s factor is $2\sqrt{2}$;
 - 3) $0,3 \text{ s} \leq t \leq 1,0 \text{ s}$ factor is determined using linear interpolation between the values mentioned above.

For a duration $t \leq 0,3$ s the peak value is used, for a duration $t \geq 1,0$ s the combined peak value is used for the analyses. In the interval $0,3 \text{ s} \leq t \leq 1,0 \text{ s}$ an interpolation between the peak value and the combined peak value calculated.

The permissible body and touch voltages are distinguished according the duration given in IEC 62128-1. The permissible combined voltages are situated within the envelope shown in Figure B.2.

If the duration is longer than 1,0 s a peak-peak approach is used, leading to a horizontal line P in Figure B.2. For a duration shorter than 0,3 s a peak approach is used leading to a slope of line P equal to the slope of line Q. For the duration between 0,3 s to 1,0 s an interpolation is used.



Key

- 1 permissible
- 2 not permissible

Figure B.2 – Overview of permissible combined a.c. and d.c. voltages

In Figure B.2 the following abbreviations are used:

$$\alpha = 0 \quad t \geq 1 \text{ s}$$

$$\alpha = \frac{(U_{ac, \max} - U_{ac, 1,0})}{(U_{ac, 0,3} - U_{ac, 1,0})} \quad 0,3 \text{ s} \leq t \leq 1,0 \text{ s}$$

$$\alpha = 1 \quad t \leq 0,3 \text{ s}$$

$$U_1 = U_{dc, \max}$$

$$U_2 = U_{ac, \max}$$

$$U_3 = \frac{\sqrt{2} \times U_{ac, \max}}{(1 + \alpha)}$$

$$U_4 = \frac{2 \cdot U_{ac, \max}}{(1 + \alpha)} - \frac{U_{dc, \max}}{\sqrt{2}}$$

$$U_5 = \frac{U_{ac, \max}}{(1 + \alpha)}$$

where

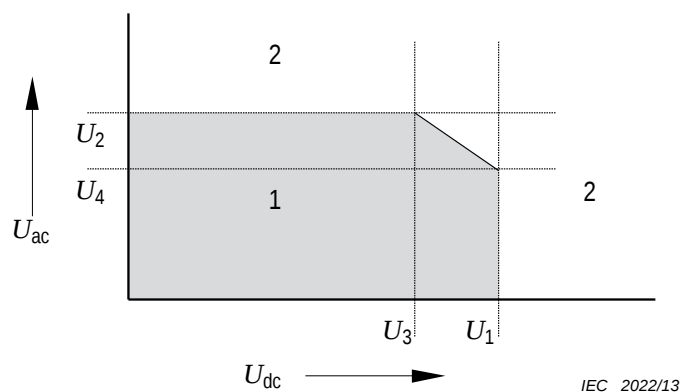
- $U_{dc, \max}$ is the maximum permissible d.c. voltage as given in IEC 62128-1, for the applicable time duration;
- $U_{ac, \max}$ is the maximum permissible a.c. voltage as given in IEC 62128-1, for the applicable time duration;
- $U_{ac, 0,3}$ is the maximum permissible a.c. voltage as given in IEC 62128-1, for 0,3 s;
- $U_{ac, 1,0}$ is the maximum permissible a.c. voltage as given in IEC 62128-1, for 1,0 s.

The slopes of the lines P and Q are the following:

Line P: $\text{slope} = S_P = \alpha \cdot \frac{-1}{\sqrt{2}}$

Line Q: $\text{slope} = S_Q = \frac{-1}{\sqrt{2}}$

As illustration an overview for alternating voltage in combination with direct voltage both with a duration $\geq 1,0$ s is shown in Figure B.3.



Key

- 1 permissible
- 2 not permissible

Figure B.3 – Overview of permissible voltages in case of a duration $\geq 1,0$ s for both a.c. voltage and d.c. voltage

An example of the use of Figures 2 and 3 is shown in Figure B.4. For an a.c. voltage duration of 0,1 s and a d.c. voltage duration of 300 s combined voltages within the shaded area are permissible.

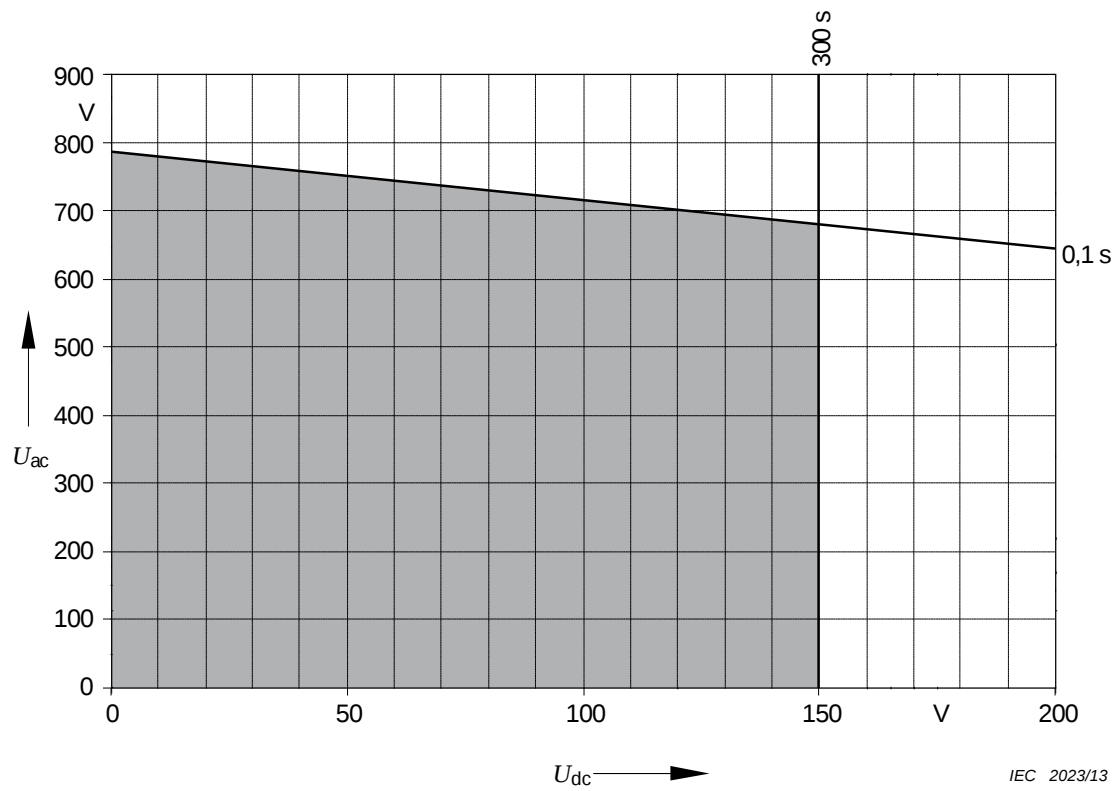


Figure B.4 – Permissible voltages in case of a duration of 0,1 s a.c. voltage and a duration of 300 s d.c. voltage

Annex C

(informative)

Analysis and assessment of mutual interaction

C.1 General

Both the a.c. system and the d.c. system shall be considered as sink and as source. For the sink, both (electro)technical systems as well as human beings are taken into consideration. Considering the mechanisms as given in Clause 5 the influence of a railway system on an adjacent system is determined, taking into account the applicable load and system configurations.

C.2 Analysis of mutual interaction

Analysis of the situation is not required when the distance is larger than the width of the zone of mutual interaction as described in Clause 6, unless there are indications that mutual interaction is possible. Analysis of the situation is required when the distance is smaller than 50 m.

C.3 System configurations to be taken into consideration

For a railway system as a minimum two cases are distinguished:

- a) long-term conditions;
- b) short-term conditions.

It is ascertained which long-term condition represents the maximum coupling between source and sink. The assessment of operating condition is based on the combination of traffic and electrical feeding which gives the worst coupling between the systems. Also it is ascertained which parts of the source and sink system need to be considered.

NOTE For the purpose of analysis, long-term conditions are associated with operation conditions and short-term conditions are associated with fault conditions or for example switching operations.

Bibliography

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

IEC/TS 60479-1:2005, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects*

IEC/TS 60479-2:2007, *Effects of current on human beings and livestock – Part 2: Special aspects*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	36
1 Domaine d'application	38
2 Références normatives	39
3 Termes et définitions	39
4 Dangers et effets indésirables	39
4.1 Généralités.....	39
4.2 Sécurité électrique des personnes.....	40
5 Types d'interaction à prendre en considération.....	40
5.1 Généralités.....	40
5.2 Couplage galvanique	40
5.2.1 Circuits de retour en CA et en CC n'étant pas directement connectés l'un à l'autre	40
5.2.2 Circuits de retour en CA et en CC directement connectés l'un à l'autre ou communs	41
5.3 Couplage non galvanique	41
5.3.1 Couplage inductif.....	41
5.3.2 Couplage capacitif	41
6 Zone d'interaction mutuelle.....	42
6.1 Généralités.....	42
6.2 Courant alternatif	42
6.3 Courant continu	43
7 Limites de la tension de contact pour la combinaison de tensions alternatives et continues.....	43
7.1 Généralités.....	43
7.2 Limites de la tension de contact en conditions de longue durée.....	44
7.3 Système en CA en conditions de courte durée et système en CC en conditions de longue durée.....	45
7.4 Système en CA en conditions de longue durée et système en CC en conditions de courte durée	45
7.5 Système en CA en conditions de courte durée et système en CC en conditions de courte durée	46
7.6 Ateliers et emplacements similaires.....	46
8 Exigences et mesures techniques dans la zone d'interaction mutuelle.....	47
8.1 Généralités.....	47
8.2 Exigences pour les situations où le réseau ferroviaire en CA et le réseau ferroviaire en CC ont des circuits de retour séparés	47
8.2.1 Généralités.....	47
8.2.2 Circuit de retour ou portions connectées au circuit de retour situé dans OCLZ et/ou CCZ de l'autre système	47
8.2.3 Construction et structures communes	48
8.2.4 Couplage inductif et capacitif.....	49
8.3 Exigences s'appliquant aux réseaux ferroviaires en CA et en CC avec circuits de retour communs et utilisant les mêmes voies	49
8.3.1 Généralités.....	49
8.3.2 Mesures contre les courants vagabonds	49
8.3.3 Structures et constructions communes	50
8.3.4 Exceptions.....	50
8.3.5 Conception de la ligne aérienne de contact	50

8.3.6 Couplage inductif et capacitif.....	51
8.4 Sections de séparation des systèmes et stations de séparation des systèmes	51
Annexe A (informative) Zone d'interaction mutuelle	52
Annexe B (informative) Analyse des tensions combinées	58
Annexe C (informative) Analyse et évaluation de l'interaction mutuelle	63
Bibliographie.....	64
Figure 1 – Tensions de contact effectives combinées maximales admissibles (excepté dans les ateliers et les emplacements similaires) pour les conditions de longue durée	44
Figure 2 – Tensions de contact effectives combinées maximales admissibles en conditions de courte durée en CA et de longue durée en CC	45
Figure 3 – Tensions de contact effectives combinées maximales admissibles en conditions de longue durée en CA et de courte durée en CC	46
Figure 4 – Tensions de contact effectives combinées maximales admissibles dans les ateliers et les emplacements similaires, excepté dans les conditions de courte durée.....	47
Figure 5 – Cas dans lequel un VLD doit s'adapter au courant alternatif et au courant continu.....	48
Figure A.1 – Présentation des tensions couplées comme fonction de la distance et de la résistivité du sol I	53
Figure A.2 – Présentation des tensions couplées comme fonction de la distance et de la résistivité du sol II.....	54
Figure A.3 – Relation entre longueur du parallélisme et zone d'interaction mutuelle engendrée par un réseau ferroviaire en CA.....	55
Figure B.1 – Définition de la tension de crête combinée.....	59
Figure B.2 – Présentation des tensions CA et CC combinées admissibles	60
Figure B.3 – Présentation des tensions admissibles dans le cas d'une durée $\geq 1,0$ s à la fois pour le CA et le CC	61
Figure B.4 – Tensions admissibles dans le cas d'une tension CA d'une durée de 0,1 s et d'une tension CC d'une durée de 300 s.....	62

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPLICATIONS FERROVIAIRES – INSTALLATIONS FIXES – SÉCURITÉ ÉLECTRIQUE, MISE À LA TERRE ET CIRCUIT DE RETOUR –

Partie 3: Interactions mutuelles entre systèmes de traction en courant alternatif et en courant continu

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 62128-3 a été établie par le comité d'études 9 de la CEI: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

Cette norme est basée sur l'EN 50122-3.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
9/1805/FDIS	9/1838/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.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 62128, publiées sous le titre général *Applications ferroviaires – Installations fixes – Sécurité électrique, mise à la terre et circuit de retour*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

APPLICATIONS FERROVIAIRES – INSTALLATIONS FIXES – SÉCURITÉ ÉLECTRIQUE, MISE À LA TERRE ET CIRCUIT DE RETOUR –

Partie 3: Interactions mutuelles entre systèmes de traction en courant alternatif et en courant continu

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62128 spécifie des exigences relatives aux mesures de protection liées à la sécurité électrique des installations fixes, lorsqu'il existe un risque raisonnable de présence de tensions ou de courants dangereux pour les personnes ou les équipements, dû aux interactions entre systèmes de traction à courant alternatif et à courant continu.

La présente norme s'applique également à tous les aspects des installations fixes, nécessaires pour garantir la sécurité électrique pendant les travaux de maintenance réalisés au sein des systèmes de traction électrique.

Les interactions peuvent être de l'un des types suivants:

- la marche en parallèle de systèmes de traction électrique à courant alternatif et à courant continu;
- le croisement de systèmes de traction électrique à courant alternatif et à courant continu;
- l'utilisation partagée de voies, bâtiments ou autres structures;
- les sections de séparation entre systèmes de traction électrique à courant alternatif et à courant continu.

Le domaine d'application se limite aux courants et tensions de fréquence de base, ainsi qu'à leur superposition. La présente norme ne couvre pas les interférences rayonnées.

La présente norme s'applique à l'ensemble des nouvelles lignes, extensions et révisions majeures apportées aux lignes existantes destinées aux systèmes de traction électrique suivants:

- a) les voies ferrées;
- b) les systèmes de transport en commun guidés tels que:
 - 1) les tramways,
 - 2) les voies ferrées surélevées et souterraines,
 - 3) les voies ferrées de montagne,
 - 4) les systèmes de trolleybus et
 - 5) les systèmes à sustentation magnétique, qui utilisent une ligne aérienne de contact;
- c) les systèmes de transport de marchandises.

La présente norme ne s'applique pas:

- d) aux systèmes de traction miniers utilisés dans les mines souterraines;
- e) aux grues, transbordeurs et équipements similaires sur rail, structures provisoires (par exemple des structures pour expositions) dans la mesure où ces équipements ne sont pas alimentés directement ou par l'intermédiaire des transformateurs du système de ligne de

contact et ne sont pas menacés par le système d'alimentation de traction pour réseaux ferroviaires;

- f) aux télécabines;
- g) aux funiculaires à câble;
- h) aux procédures ou règles de maintenance.

Les règles données dans la présente norme peuvent également être appliquées à l'interaction mutuelle avec les voies non électrifiées, si des tensions ou courants dangereux peuvent provenir des systèmes de traction électrique à courant alternatif ou continu.

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).

CEI 62128-1:2013, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Sécurité électrique, mise à la terre et circuit de retour – Partie 1: Mesures de protection contre les chocs électriques*

CEI 62128-2:2013, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Sécurité électrique, mise à la terre et circuit de retour – Partie 2: Mesures de protection contre les effets des courants vagabonds issus de la traction électrique à courant continu*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 62128-1 s'appliquent.

4 Dangers et effets indésirables

4.1 Généralités

Les différentes exigences spécifiées dans la CEI 62128-1 et la CEI 62128-2, relatives aux connexions du circuit de retour des réseaux ferroviaires à courant alternatif et aux connexions du circuit de retour des réseaux ferroviaires à courant continu, doivent être harmonisées pour éviter les risques de présence de tensions dangereuses et de courants vagabonds.

Ces risques et dangers doivent être pris en compte dès le début de la planification de toute installation comprenant des réseaux ferroviaires à courant alternatif et à courant continu. Des mesures appropriées doivent être spécifiées pour limiter les tensions aux niveaux spécifiés dans la présente norme, tout en limitant les nuisances du courant vagabond conformément à la CEI 62128-2.

Les autres effets indésirables sont, entre autres:

- la surchauffe des conducteurs, écrans et gaines;
- la surchauffe des transformateurs due à la saturation magnétique des noyaux;
- la restriction d'exploitation en raison des effets possibles sur la sécurité et le bon fonctionnement des systèmes de signalisation;
- la restriction d'exploitation en raison du dysfonctionnement du système de télécommunication.

Il convient de prendre en compte ces effets conformément aux normes appropriées.

4.2 Sécurité électrique des personnes

Lorsque des tensions alternatives et continues sont présentes simultanément, les limites de tension de contact indiquées dans l'Article 7 s'appliquent en plus des limites indiquées à l'Article 9 de la CEI 62128-1:2013.

5 Types d'interaction à prendre en considération

5.1 Généralités

Le couplage décrit le processus physique de transmission de l'énergie d'une source à un dispositif réceptif à l'énergie.

Les formes de couplage suivantes doivent être prises en considération:

- a) couplage (conducteur) galvanique;
- b) couplage non galvanique:
 - 1) couplage inductif;
 - 2) couplage capacitif.

Le couplage galvanique est plus répandu à basses fréquences, où les impédances du circuit sont faibles. Le couplage galvanique génère des tensions et des courants par conduction.

Les effets du couplage inductif résultent en des tensions induites, et de ce fait en des courants. Ces tensions et courants dépendent entre autres des distances, de la longueur, de la fréquence et de la configuration du conducteur de courant inducteur.

Les effets du couplage capacitif sont des tensions influencées dans des parties isolées galvaniquement ou des conducteurs. Les tensions influencées dépendent entre autres de la tension du système qui les influence et de la distance. Les courants résultant du couplage capacitif dépendent également de la fréquence.

NOTE En ce qui concerne le couplage capacitif et inductif, l'expérience montre que seule l'influence du réseau ferroviaire à courant alternatif sur le réseau ferroviaire à courant continu est significative.

5.2 Couplage galvanique

5.2.1 Circuits de retour en CA et en CC n'étant pas directement connectés l'un à l'autre

Une interaction mutuelle entre les circuits de retour peut être causée par les courants qui traversent la terre et sont générés par le potentiel rail/sol des réseaux ferroviaires à courant alternatif et des réseaux ferroviaires à courant continu. Il peut s'agir par exemple de courants de retour qui circulent à travers les conducteurs de retour, les réseaux de mise à la terre des sous-stations de traction et les écrans de câble.

En présence d'un chemin parallèle conducteur vers le circuit de retour dans le système influencé, différents effets sont possibles. Lorsqu'un véhicule fait partie du chemin parallèle, le courant de retour du réseau ferroviaire qui l'influence peut circuler à travers le système de propulsion de l'unité motrice. Les mêmes effets sont possibles lorsque le courant de retour du système qui l'influence circule par exemple à travers l'autotransformateur et le transformateur de la sous-station d'un système autotransformateur ou à travers des transformateurs survolteurs-dévolteurs ou d'autres dispositifs.

Un choc électrique à tensions combinées peut se produire lorsque des parties des circuits de retour ou des parties conductrices connectées aux circuits de retour par des limiteurs de tension se situent dans la zone de la ligne aérienne de contact de l'autre réseau ferroviaire, voir 8.2.2.

5.2.2 Circuits de retour en CA et en CC directement connectés l'un à l'autre ou communs

En plus des effets décrits en 5.2.1, l'échange de courant est augmenté lorsque les circuits de retour en CA et en CC sont directement connectés l'un à l'autre ou communs.

EXEMPLE Les connexions directes peuvent être les passages à niveau, les voies communes, les sections de séparation des systèmes, etc.

Les courants qui circulent entre le réseau ferroviaire en courant alternatif et le réseau ferroviaire en courant continu peuvent engendrer une interaction mutuelle entre les circuits de retour.

Les deux circuits de retour sont sur le même potentiel au point de connexion. Un court-circuit au sein du réseau à courant alternatif peut générer une tension de crête sur les structures conductrices connectées au circuit de retour du réseau ferroviaire à courant continu. Les mêmes effets s'appliquent aux structures conductrices qui lui sont connectées directement ou par un limiteur de tension (VLD). La tension qui traverse le limiteur de tension peut déclencher le dispositif sans défaillance du côté courant continu.

La connexion du circuit de retour du réseau ferroviaire à courant continu avec le circuit de retour mis à la terre du réseau ferroviaire à courant alternatif augmente le danger de corrosion due aux courants vagabonds.

Pour les exigences relatives aux installations fixes, voir 8.3.

5.3 Couplage non galvanique

5.3.1 Couplage inductif

Une tension alternative peut être induite sur un système de ligne de contact en courant continu et sur le circuit de retour du système en CC. Cet effet doit être pris en compte lorsque le réseau ferroviaire en courant continu se situe dans la zone d'interaction mutuelle.

Par conséquent, une tension alternative peut survenir dans la sous-station en CC au niveau des barres omnibus par rapport à la terre (c'est-à-dire au niveau du redresseur ou dans les armoires des lignes d'alimentation).

L'interaction peut se produire sous la forme de tensions de contact accessibles supérieures à la valeur admissible; voir l'Article 7.

Les croisements perpendiculaires ne génèrent pas d'effets inductifs dans le système en CC.

5.3.2 Couplage capacitif

À de courtes distances, une tension alternative peut être influencée sur un système de ligne de contact en CC lorsque celui-ci est isolé, avec isolateur ou disjoncteur ouvert. On doit tenir compte du fait que la tension peut atteindre le niveau de tension de contournement maximal des isolateurs ou des parafoudres.

La distance dépend entre autres de la géométrie et de la tension.

Une tension alternative peut être générée dans la sous-station en CC au niveau des barres omnibus en CC par rapport à la terre, c'est-à-dire dans les armoires des lignes d'alimentation.

L'interaction peut se produire sous la forme de tensions de contact accessibles supérieures à la valeur admissible; voir l'Article 7.

6 Zone d'interaction mutuelle

6.1 Généralités

Le réseau ferroviaire en CA affecte le réseau ferroviaire en CC et inversement au moyen du couplage galvanique, inductif et/ou capacitif (voir l'Article 5). La zone d'interaction mutuelle indique une distance et une longueur de parallélisme entre un réseau ferroviaire en CA et un réseau ferroviaire en CC (voir l'Annexe A). Les limites de la zone d'interaction mutuelle sont basées sur les limites de la tension de contact données dans l'Article 7.

S'il existe une zone d'interaction mutuelle, les exigences données dans la présente norme doivent être respectées.

Lorsque la distance entre les voies ferrées en CA et en CC est inférieure à 50 m, on présume qu'une zone d'interaction mutuelle existe. Les distances supérieures à 50 m sont traitées en 6.2 et 6.3.

Lorsque la distance entre les voies ferrées en CA et en CC devient inférieure à 50 m, les effets décrits en 5.2.1 ou en 5.2.2 peuvent être attendus.

Les distances entre le réseau ferroviaire en CA et le réseau ferroviaire en CC ne peuvent pas être indiquées de manière générique et il convient de les traiter séparément en fonction des conditions locales.

NOTE Pour des informations relatives à l'analyse et à l'évaluation de la zone d'interaction mutuelle, voir l'Annexe C.

6.2 Courant alternatif

Lorsqu'un réseau ferroviaire en CA influence un réseau ferroviaire en CC, la zone d'interaction mutuelle se base sur des tensions couplées dans le système concerné.

Pour des besoins de planification, la zone d'interaction mutuelle doit être recherchée, soit par calculs soit à l'aide de la procédure suivante.

Lorsque les conditions préalables suivantes s'appliquent, la limite de la distance entre les voies ferrées en CA et en CC est de 1 000 m:

- ligne à double voie, où seuls les quatre rails de roulement du réseau ferroviaire en CA sont utilisés pour le circuit de retour;
- le courant inducteur est de 500 A par ligne aérienne de contact (1 000 A au total);
- la longueur du parallélisme entre les voies ferrées en CA et en CC est de 4 km;
- la résistivité du sol est de 100 Ω m;
- la fréquence nominale est de 50 Hz;
- le système concerné est isolé par rapport à la terre sur toute sa longueur et connecté à la terre à une extrémité seulement;
- les effets d'écran des autres objets métalliques parallèles ne sont pas pris en compte.

Dans les cas où d'autres conditions préalables s'appliquent, la dimension de la zone d'interaction mutuelle doit être calculée.

Une méthode de calcul est indiquée à l'Annexe A.

NOTE L'exemple ci-dessus se base sur une limite de 35 V pour le courant alternatif avec une durée supérieure à 300 s.

Si un réseau ferroviaire en CC se trouve dans la zone d'interaction mutuelle d'un réseau ferroviaire en CA, le niveau de tensions ou de courants couplés dans le système en CC n'est

pas nécessairement trop élevé. Dans ce cas, une nouvelle analyse de la situation doit être réalisée.

6.3 Courant continu

En ce qui concerne les effets des systèmes ferroviaires en CC sur les systèmes ferroviaires en CA, il n'est pas nécessaire de prendre en compte la distance pour déterminer la zone d'interaction mutuelle, en raison du gradient de tension élevé dans le sol, causé par les rails isolés.

Cependant, si un transfert de tension est possible, de façon permanente ou temporaire, en raison d'une connexion galvanique vers les parties conductrices ou partiellement conductrices, la zone d'interaction mutuelle est déterminée par les dimensions des parties mentionnées précédemment. Dans ce cas, le niveau de tensions ou de courants couplés dans le système en CA n'est pas nécessairement trop élevé, et une nouvelle analyse de la situation doit être réalisée.

7 Limites de la tension de contact pour la combinaison de tensions alternatives et continues

7.1 Généralités

Les limites indiquées de 7.2 à 7.6 sont basées sur la tension de contact uniquement et elles ne doivent pas être dépassées. Les autres effets relatifs aux installations électriques ne sont pas pris en considération.

Les limites applicables aux installations électriques ne peuvent pas être indiquées de façon générale et il convient de les traiter séparément en fonction de la sensibilité des installations concernées.

Lorsque des tensions uniquement alternatives ou uniquement continues sont présentes, les limites de la tension de contact spécifiées dans la CEI 62128-1 s'appliquent.

La composante continue et la composante alternative d'une tension combinée $u(t)$ pour une durée dépassant 1 s sont définies comme suit:

$$U_{dc} = \frac{1}{T} \cdot \int_a^{a+T} u(t) \cdot dt \quad (1)$$

$$U_{ac} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_a^{a+T} (u(t) - U_{dc})^2 \cdot dt} \quad (2)$$

où

T = 1 s

t est le temps;

$u(t)$ est la tension combinée;

U_{dc} est la composante continue de la tension combinée;

U_{ac} est la composante alternative de la tension combinée.

NOTE 1 La Formule (1) donne la valeur moyenne glissante de la composante continue; la Formule (2) donne la valeur efficace glissante de la composante alternative.

Les tensions alternative et continue sont définies comme suit, uniquement pour les phénomènes de courte durée $t \leq 1$ s:

- U_{dc} est la composante de la tension combinée générée par le système en CC;
- U_{ac} est la composante de la tension combinée générée par le système en CA.

NOTE 2 Pour plus d'informations sur les tensions combinées, voir l'Annexe B.

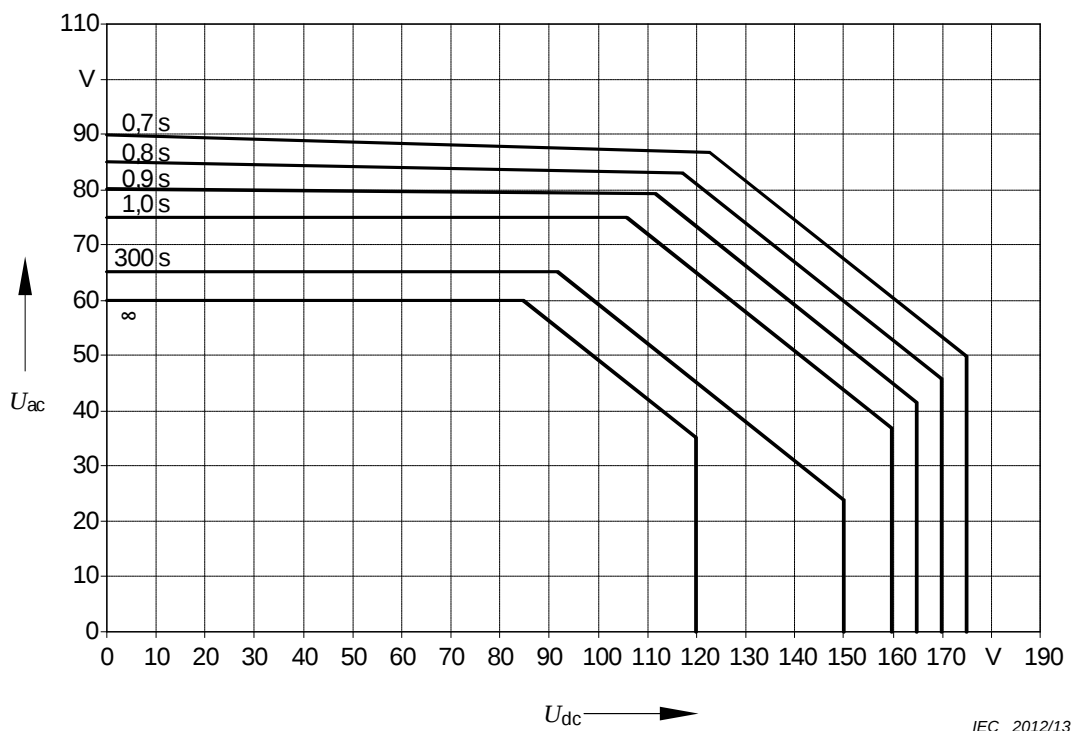
NOTE 3 Les conditions de longue durée sont associées aux conditions d'exploitation et les conditions de courte durée sont associées aux conditions de défaut, ou par exemple les opérations de commutation.

7.2 Limites de la tension de contact en conditions de longue durée

L'approche suivante doit être utilisée pour vérifier si la tension combinée est admissible:

- a) La composante alternative de la tension combinée ne doit pas dépasser la tension alternative maximale admissible traversant le corps, spécifiée dans le Tableau 3 de la CEI 62128-1, pour la condition de durée applicable.
- b) La composante continue de la tension combinée ne doit pas dépasser la tension continue maximale admissible traversant le corps, spécifiée dans le Tableau 5 de la CEI 62128-1, pour la condition de durée applicable.
- c) La tension combinée est admissible si elle se trouve dans les limites définies pour la condition de durée applicable de la Figure 1.
- d) Pour des durées supérieures à 1 s, la valeur de crête combinée (voir explication à l'Annexe B) doit être inférieure à $2 \times \sqrt{2}$ fois la tension alternative maximale admissible traversant le corps, spécifiée dans le Tableau 3 de la CEI 62128-1 pour la condition de durée applicable, quelle que soit la fréquence.

EXEMPLE En supposant la présence de la tension de contact continue maximale admissible de 120 V dans le système en CC, la limite alternative est de 35 V (voir Figure 1). En supposant la présence de la tension de contact alternative maximale admissible de 60 V dans le système en CA, la limite continue est de 85 V (voir Figure 1).



IEC 2012/13

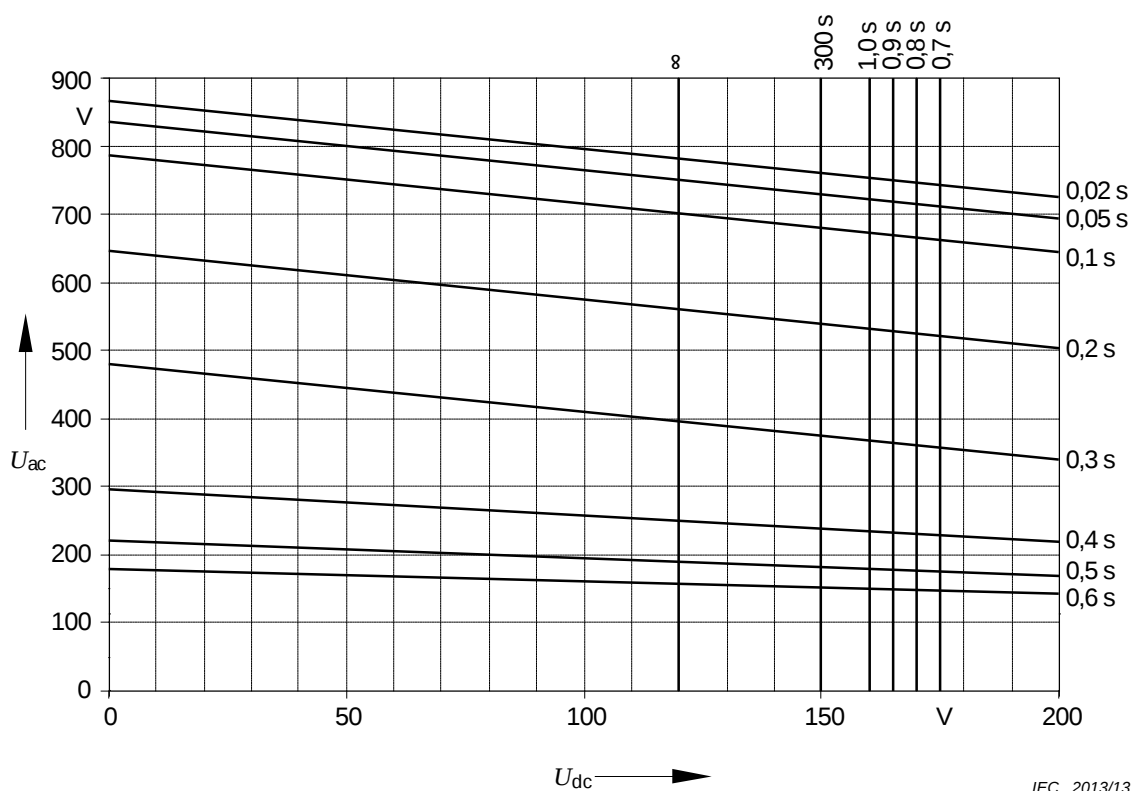
Toutes les valeurs sont des valeurs efficaces.

Figure 1 – Tensions de contact effectives combinées maximales admissibles (excepté dans les ateliers et les emplacements similaires) pour les conditions de longue durée

7.3 Système en CA en conditions de courte durée et système en CC en conditions de longue durée

L'approche suivante doit être utilisée pour vérifier si la tension combinée est admissible:

- La composante alternative, de courte durée, de la tension combinée ne doit pas dépasser la tension de contact alternative maximale admissible, spécifiée dans le Tableau 4 de la CEI 62128-1, pour la condition de durée applicable.
- La composante continue de la tension combinée ne doit pas dépasser la tension de contact continue maximale admissible, spécifiée dans le Tableau 6 de la CEI 62128-1, pour la condition de durée applicable.
- La tension combinée est admissible si elle se trouve dans les limites définies pour la condition de durée applicable à la Figure 2.



Toutes les valeurs sont des valeurs efficaces.

Figure 2 – Tensions de contact effectives combinées maximales admissibles en conditions de courte durée en CA et de longue durée en CC

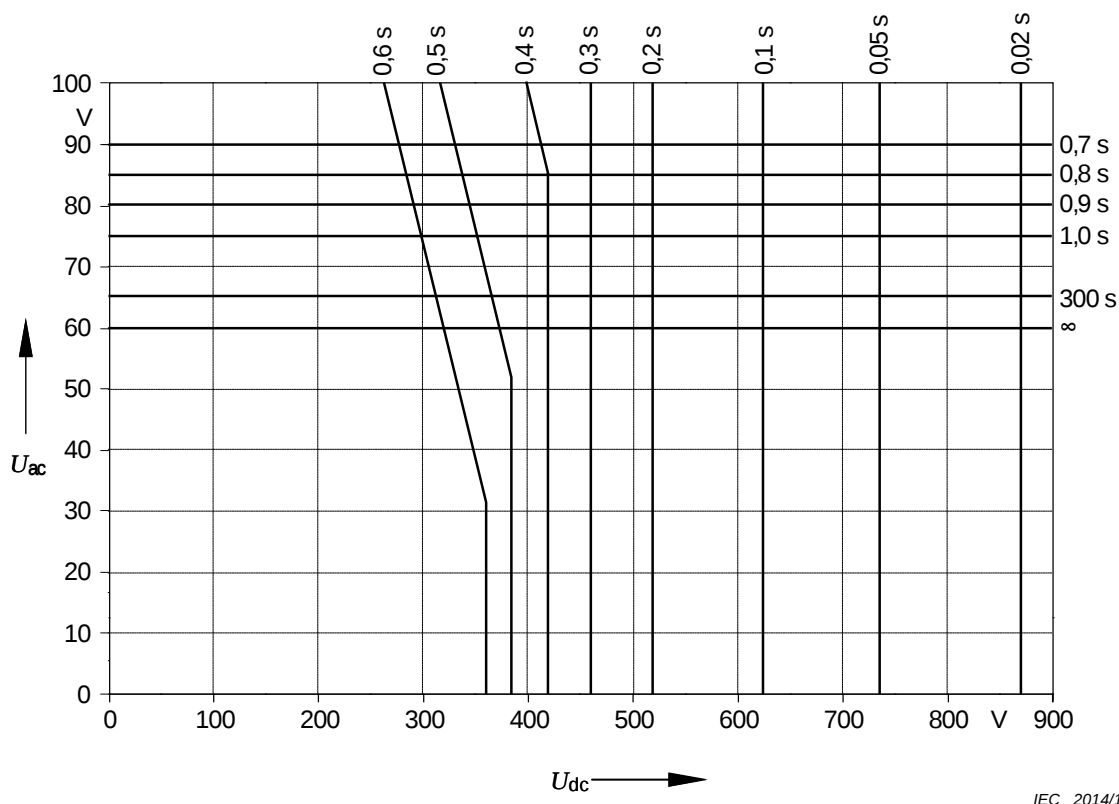
EXEMPLE Un exemple d'utilisation de la Figure 2 est indiqué dans l'Annexe B.

7.4 Système en CA en conditions de longue durée et système en CC en conditions de courte durée

L'approche suivante doit être utilisée pour vérifier si la tension combinée est admissible:

- La composante alternative de la tension combinée ne doit pas dépasser la tension de contact alternative maximale admissible, spécifiée dans le Tableau 4 de la CEI 62128-1, pour la condition de durée applicable.
- La composante continue de courte durée de la tension combinée ne doit pas dépasser la tension de contact continue maximale admissible, spécifiée dans le Tableau 6 de la CEI 62128-1, pour la condition de durée applicable.

- c) La tension combinée est admissible si elle se trouve dans les limites définies pour la condition de durée applicable à la Figure 3.



Toutes les valeurs sont des valeurs efficaces.

Figure 3 – Tensions de contact effectives combinées maximales admissibles en conditions de longue durée en CA et de courte durée en CC

7.5 Système en CA en conditions de courte durée et système en CC en conditions de courte durée

Il n'est pas nécessaire de considérer les phénomènes simultanés de courte durée dans le système en CA et dans le système en CC.

NOTE Il est peu probable qu'un phénomène de courte durée se produise simultanément dans le système en CA et dans le système en CC, et qu'au même moment le circuit de retour soit touché.

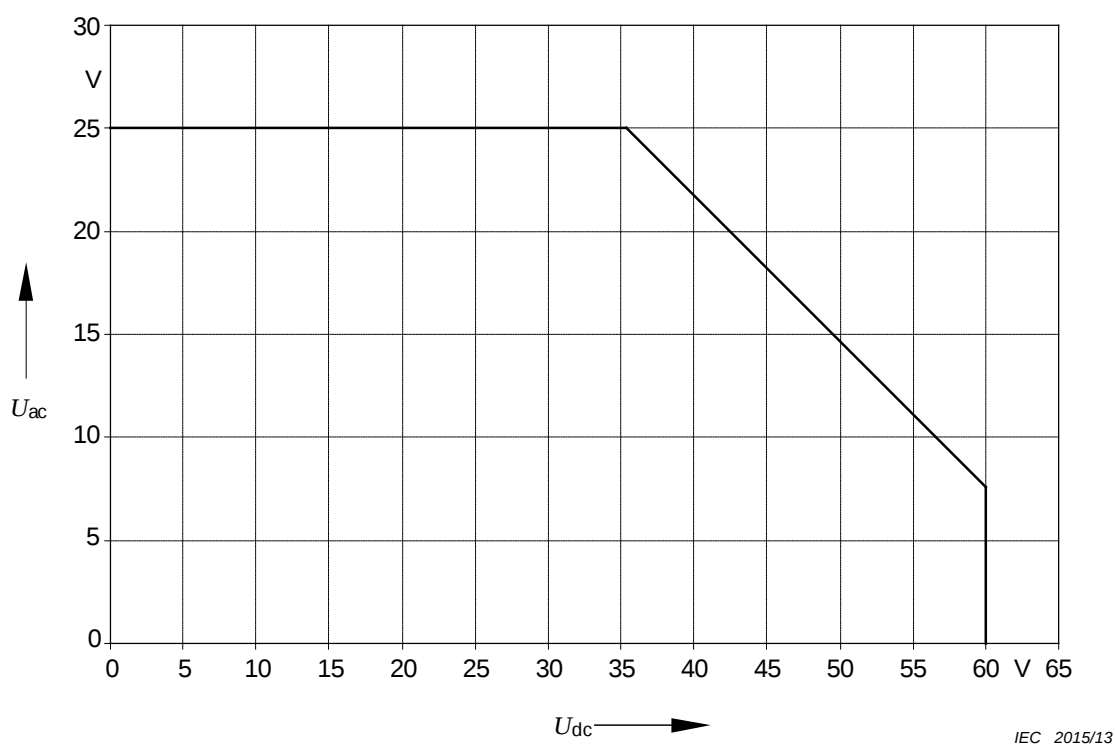
7.6 Ateliers et emplacements similaires

Pour les conditions de longue durée, l'approche suivante doit être utilisée pour vérifier si la tension combinée est admissible:

- La composante alternative de la tension combinée doit être conforme au 9.2.2.3 de la CEI 62128-1.
- La composante continue de la tension combinée doit être conforme au 9.3.2.3 de la CEI 62128-1.
- La tension combinée est admissible si elle se trouve dans les limites définies pour la condition de durée applicable à la Figure 4.

Pour les conditions de courte durée, les spécifications de 7.3, 7.4 et 7.5 s'appliquent.

EXEMPLE En supposant la présence de la tension de contact continue maximale admissible de 60 V dans le système en CC, la limite alternative est de 8 V. En supposant la présence de la tension de contact alternative maximale admissible de 25 V dans le système en CA, la limite continue est de 35 V (voir Figure 4).



Toutes les valeurs sont des valeurs efficaces.

Figure 4 – Tensions de contact effectives combinées maximales admissibles dans les ateliers et les emplacements similaires, excepté dans les conditions de courte durée

8 Exigences et mesures techniques dans la zone d'interaction mutuelle

8.1 Généralités

Toutes les installations doivent être conformes aux exigences de la CEI 62128-1 et de la CEI 62128-2. D'autres dispositions additionnelles sont décrites ci-dessous.

8.2 Exigences pour les situations où le réseau ferroviaire en CA et le réseau ferroviaire en CC ont des circuits de retour séparés

8.2.1 Généralités

Ce paragraphe s'applique lorsqu'il n'existe aucune connexion de circuit de retour entre le réseau ferroviaire en CA et le réseau ferroviaire en CC.

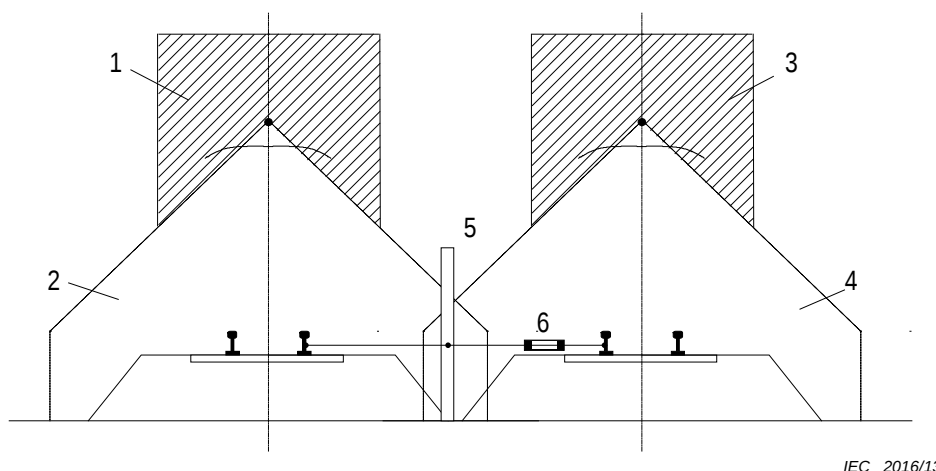
8.2.2 Circuit de retour ou portions connectées au circuit de retour situé dans OCLZ et/ou CCZ de l'autre système

Il doit être déterminé si l'application de l'Article 6 de la CEI 62128-1 exige l'établissement de connexions conductrices entre le circuit de retour du réseau ferroviaire en CA et le circuit de retour du réseau ferroviaire en CC. Dans ce cas, il doit être spécifié que les limiteurs de tension requis par 6.2.2 de la CEI 62128-1 fonctionnent avec des tensions et des courants alternatifs en plus des tensions et courants continus, de manière à assurer la conformité avec l'Article 7 de la présente norme. Voir l'Annexe F de la CEI 62128-1.

Si le circuit de retour, les parties connectées au circuit de retour ou les véhicules du réseau ferroviaire en CA sont situés dans la zone de la ligne aérienne de contact ou de captage de courant du réseau ferroviaire en CC, ou inversement, les limiteurs de tension (VLD-F fonction

minimale) doivent être connectés entre le circuit de retour du réseau ferroviaire en CC et le circuit de retour du réseau ferroviaire en CA.

EXEMPLE Voir Figure 5.



Légende

- 1 zone de captage de courant de la ligne en CA
- 2 zone de la ligne aérienne de contact de la ligne en CA
- 3 zone de captage de courant de la ligne en CC
- 4 zone de la ligne aérienne de contact de la ligne en CC
- 5 clôture ou autre portion conductrice (connectée au circuit de retour de la ligne en CA)
- 6 limiteur de tension (VLD)

Figure 5 – Cas dans lequel un VLD doit s'adapter au courant alternatif et au courant continu

La conception des systèmes doit être telle que les limiteurs de tension ne soient pas conducteurs en conditions d'exploitation, de manière à satisfaire aux exigences de la CEI 62128-2.

Les risques associés à l'état conducteur des limiteurs de tension doivent être évalués.

8.2.3 Construction et structures communes

8.2.3.1 Choix de la stratégie de mise à la terre

Une évaluation doit être réalisée, à un stade précoce de la planification, afin de déterminer s'il est souhaitable et possible de séparer la partie de la terre de structure associée au réseau ferroviaire en CA de la partie de la terre de structure associée au réseau ferroviaire en CC, et de séparer l'une ou l'autre partie de la terre de structure des systèmes de mise à la terre extérieurs à la construction ou à la structure commune. Dans tous les cas, les trajets suivis par le courant de défaut à la terre, à partir de la ligne de contact en CA et de la ligne de contact en CC, doivent être identifiés. Des conducteurs de section utile suffisante doivent également être présents. Voir l'Article 7 de la CEI 62128-1 pour les alimentations qui ne contribuent pas à la traction.

8.2.3.2 Séparation des terres de structure

Dans le cas de terres de structure séparées, des sectionnements ou des joints d'isolation sont nécessaires.

Pour éviter la dérivation des sectionnements d'isolation, les conducteurs PE des câbles d'alimentation électrique, les écrans des câbles de communication, les conduits métalliques et les éléments similaires qui traversent la construction de bout en bout, ou pénètrent la

construction de l'extérieur, nécessitent un joint d'isolation. Les sectionnements d'isolation et les équipements associés doivent être installés aux frontières des terres de structure séparées. Les systèmes correspondants doivent être conçus pour fonctionner en toute sécurité lorsque les sectionnements d'isolation sont en place.

Lorsqu'il est nécessaire d'intégrer des sectionnements d'isolation dans les parties souterraines de la construction, les sections d'isolation doivent présenter une longueur suffisante de sorte que le courant ne les contournera pas par conduction à travers le sol.

Il a été constaté qu'une distance de 1 m est suffisante si la résistivité du sol est supérieure à 500 Ωm . Dans le cas contraire, une distance de 2 m est requise.

Il convient de prendre des dispositions pour détecter les connexions fortuites entre les deux terres de structure.

8.2.3.3 Terre de structure commune

Si les terres de structure sont connectées, une attention particulière doit être accordée au risque de courants vagabonds dans le réseau ferroviaire en CA et dans les systèmes de mise à la terre à l'extérieur des structures ferroviaires. Voir l'Article 7 de la CEI 62128-2.

Il convient de prendre des dispositions pour détecter les dangers possibles liés aux courants vagabonds dans le réseau ferroviaire en CA, la terre de structure et les terres extérieures. Voir l'Article 10 de la CEI 62128-2.

8.2.4 Couplage inductif et capacitif

Les tensions induites ou influencées par le réseau ferroviaire en CA dans les lignes de contact et les câbles du réseau ferroviaire en CC, ainsi que les tensions induites dans les rails et câbles proches du réseau ferroviaire en CC., doivent être évaluées. Des mesures correctives doivent être appliquées, le cas échéant.

NOTE Les rails du réseau ferroviaire en CC peuvent capter des tensions induites significatives s'ils sont bien isolés de la terre conformément à la CEI 62128-1. Les circuits de communication proches du réseau ferroviaire en CC peuvent nécessiter le même type de mesures que celles requises par les circuits de communication proches du réseau ferroviaire en CA.

Des précautions doivent être prises contre les tensions alternatives excessives sur les lignes de contact en CC lorsqu'elles sont déconnectées des sous-stations et ne sont pas mises à la terre.

Lors de l'évaluation de la conformité, il doit être tenu compte de la sous-section indivisible de la ligne de contact en CC qui est couplée la plus proche avec le réseau ferroviaire en CA. Les tensions couplées en direction du système en CC doivent être prises en compte dans la conception du système en CC.

8.3 Exigences s'appliquant aux réseaux ferroviaires en CA et en CC avec circuits de retour communs et utilisant les mêmes voies

8.3.1 Généralités

Ce paragraphe s'applique aux systèmes de traction électrique en CA et en CC situés sur les mêmes voies ainsi qu'aux passages à niveau entre un réseau ferroviaire en CA et un réseau ferroviaire en CC.

8.3.2 Mesures contre les courants vagabonds

Des mesures doivent être mises en œuvre pour empêcher la circulation de courants vagabonds en quantité suffisamment significative pour causer des dommages, entre les voies électrifiées uniquement avec du courant alternatif et les voies électrifiées uniquement avec du courant continu. Les rails de roulement des voies équipées des deux systèmes doivent être

isolés de la terre conformément à 6.4 de la CEI 62128-2. Les connexions conformes à 6.2 de la CEI 62128-1 doivent comprendre des limiteurs de tension (VLD) pouvant écouler du courant alternatif et du courant continu. Les limiteurs de tension doivent être mis en œuvre conformément aux spécifications de l'Annexe F de la CEI 62128-1.

EXEMPLE Les connexions via VLD établies à partir des rails de roulement vers les supports de ligne de contact et la terre de structure, requises en raison de la présence de lignes de contact à haute tension, constituent des exemples de connexion applicables au titre de 6.2 de la CEI 62128-1.

La conception des systèmes d'alimentation en courant de traction des réseaux ferroviaires doit être telle que les limiteurs de tension ne soient pas conducteurs sauf dans les conditions d'exploitation exceptionnelles, de manière à satisfaire aux exigences de la CEI 62128-2.

Les risques associés à l'état conducteur des limiteurs de tension doivent être évalués.

Les mesures ci-dessus entraînent un manque de mise à la terre des voies. Par conséquent, des mesures spécifiques peuvent s'avérer nécessaires pour obtenir des tensions alternatives suffisamment faibles sur les rails de roulement. Ces mesures peuvent impliquer l'utilisation de transformateurs d'isolement, de transformateurs survolteurs-dévolteurs et de conducteurs de retour isolés de la terre.

NOTE L'expérience a montré qu'une conception pratique peut être effectuée si la tension alternative et la tension continue sur le rail sont l'une comme l'autre largement inférieures à 25 V en valeur efficace pendant 1 min, et largement inférieures à 10 V en valeur efficace pendant 30 min.

8.3.3 Structures et constructions communes

Les exigences spécifiées en 8.2.3 s'appliquent également lorsque des systèmes de traction électrique en CA et en CC sont mis en œuvre sur les mêmes voies, excepté que la séparation de la terre de structure vers une portion en CA et une portion en CC n'est pas pertinente.

Une attention particulière doit être portée aux risques de courants vagabonds dans les structures, dans les systèmes électriques de mise à la terre, dans les canalisations et dans les autres équipements similaires, extérieurs à la construction commune.

8.3.4 Exceptions

Les exigences spécifiées en 8.3.2 et 8.3.3 peuvent être réduites s'il est avéré que des dommages significatifs, causés par des courants vagabonds, ne se produiront pas si les rails de roulement du système en CC sont mis à la terre de la même manière que pour le système en CA.

Ce type d'exception est possible si au moins une des conditions préalables suivantes s'applique:

- le système de traction en CC utilise un rail conducteur de retour isolé (par exemple, le «quatrième rail») pour le courant de retour de traction;
- le système en CC présente une faible chute de tension le long des rails de roulement, en raison par exemple de la faiblesse du courant de traction ou de la longueur réduite des sections d'alimentation, voir également la CEI 62128-2. Il est possible de mettre en œuvre une mesure qui consiste à placer des conducteurs de retour isolés en parallèle avec les rails de roulement;
- les voies équipées des deux systèmes sont séparées électriquement du reste du système en CC par des joints de rail d'isolation et des équipements associés;
- la durée d'utilisation des bâtiments est inférieure à la période prévisible de survenance des dommages. Cela comprend également les structures détenues par des tiers.

8.3.5 Conception de la ligne aérienne de contact

La probabilité qu'un conducteur en CA sous tension tombe sur un conducteur en CC sous tension, ou inversement, doit être maintenue aussi faible que possible.

Cette mesure implique d'éviter le contournement électrique des isolateurs ou amorçages entre les deux systèmes.

8.3.6 Couplage inductif et capacitif

Les spécifications de 8.2.4 s'appliquent également lorsque les systèmes de traction électrique en CA et en CC sont installés sur les mêmes voies.

8.4 Sections de séparation des systèmes et stations de séparation des systèmes

Le transfert des courants vagabonds doit être limité conformément à la CEI 62128-2. Les tensions de contact doivent être conformes à l'Article 7.

Les exigences de base consistent:

- à assurer la continuité du circuit de retour à la fois pour les courants alternatifs et continus, dans toutes les conditions d'exploitation et de défaut,
- à empêcher les connexions électriques entre les lignes de contact en CA et les lignes de contact en CC,
- à limiter l'échange de courant entre le circuit de retour en CA et en CC.

Une manière appropriée de limiter l'échange de courant de retour entre les deux systèmes consiste à utiliser des joints de rail d'isolation avec une alimentation spéciale et des systèmes de commutation.

En cas d'utilisation de joints de rail d'isolation, la tension autour des joints doit être limitée afin d'éviter des tensions de contact inadmissibles.

NOTE Les tensions autour des joints de rail d'isolation sont pontées par les véhicules.

Les stations de séparation des systèmes doivent être traitées conformément à 8.3.

Annexe A (informative)

Zone d'interaction mutuelle

A.1 Généralités

La présente annexe donne des informations sur la manière de déterminer les dimensions de la zone d'interaction mutuelle. Il ne s'agit pas de calculer avec précision la tension couplée dans le système en CC en raison d'un système en CA adjacent.

A.2 Système en CA comme source

A.2.1 Paramètres principaux

La zone d'interaction mutuelle du CA vers le CC se base sur des tensions couplées admissibles dans le système ferroviaire en CC concerné.

Pour la largeur de la zone d'interaction mutuelle, les paramètres principaux suivants importent:

- a) le type de système d'alimentation de traction utilisé, soit:
 - 1) standard, seuls les rails de roulement sont utilisés pour le courant de retour de traction,
 - 2) système à transformateur survolteur-dévolteur,
 - 3) système à autotransformateur;
- b) les conducteurs de retour supplémentaires;
- c) le courant de traction inducteur;
- d) la longueur du parallélisme;
- e) la géométrie et la distance entre les voies ferrées lorsque les voies ferrées ne sont pas parfaitement parallèles;
- f) la résistivité du sol;
- g) la fréquence fondamentale (par exemple 16,7 Hz, 50 Hz ou 60 Hz);
- h) le filtrage par d'autres structures métalliques ou les effets de conductance à la terre des rails de roulement, etc.

A.2.2 Analyse de base

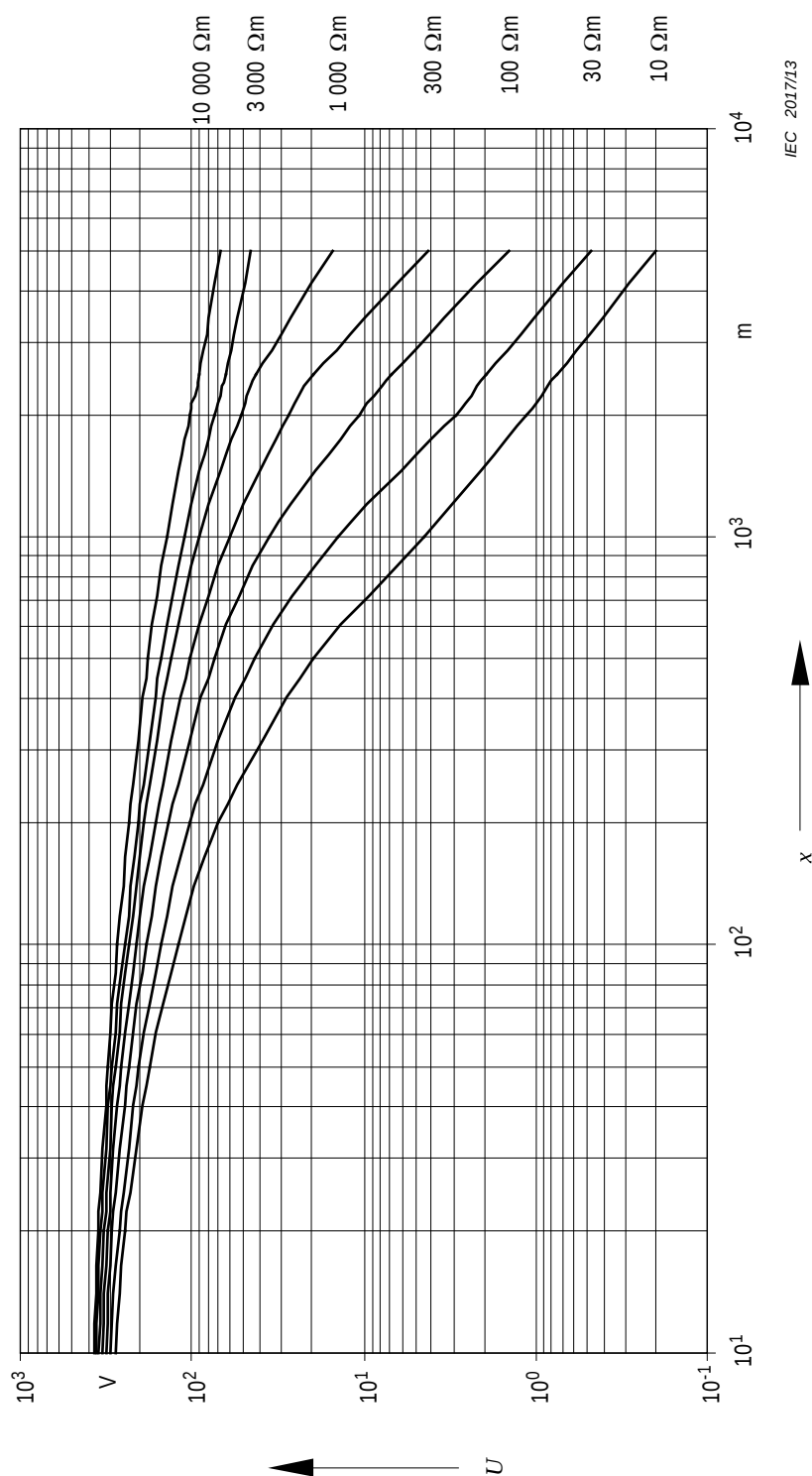
Pour l'évaluation de base, les paramètres de base suivants sont utilisés:

- ligne à double voie, où seuls les quatre rails de roulement sont utilisés pour le circuit de retour;
- le courant inducteur est de 500 A par ligne aérienne de contact (1 000 A au total);
- la longueur de parallélisme supposée est de 4 km;
- la résistivité du sol varie entre 10 Ωm et 10 000 Ωm ;
- la fréquence fondamentale est de 50 Hz.

La tension induite dans un système, isolé par rapport à la terre et connecté à la terre à une extrémité seulement, a été calculée pour plusieurs distances et résistivités du sol, voir Figure A.1 (échelle logarithmique double) et Figure A.2 (équivalent à la Figure A.1, mais

échelles linéaires). Pour les paramètres indiqués ci-dessus et une résistivité du sol de $100 \Omega\text{m}$, la zone d'interaction mutuelle est de $1\,000 \text{ m}$.

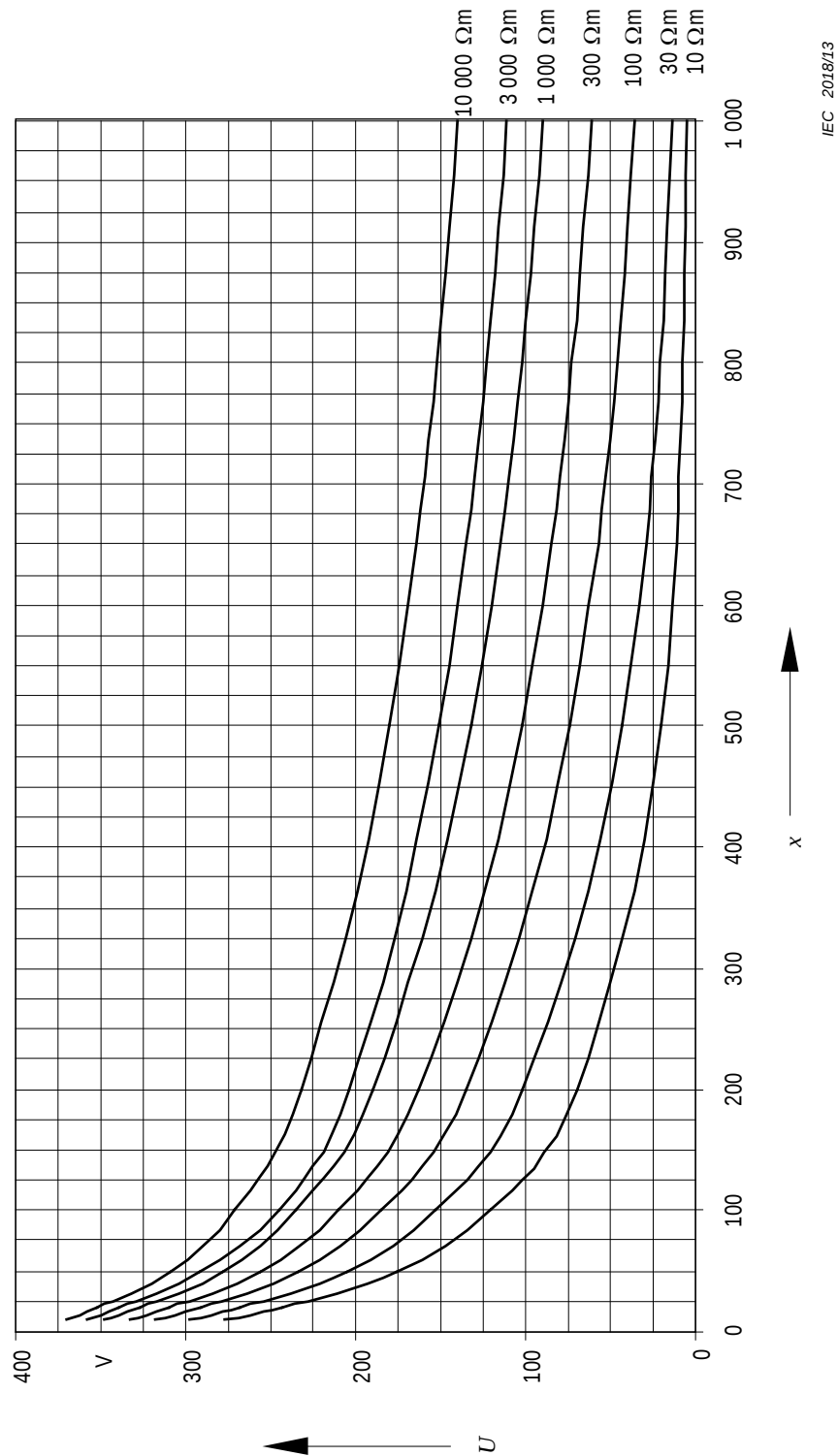
Un exemple de relation entre la longueur du parallélisme et la zone d'interaction mutuelle est présenté à la Figure A.3.



Légende

x Distance entre les axes des voies des systèmes ferroviaires en CA et en CC

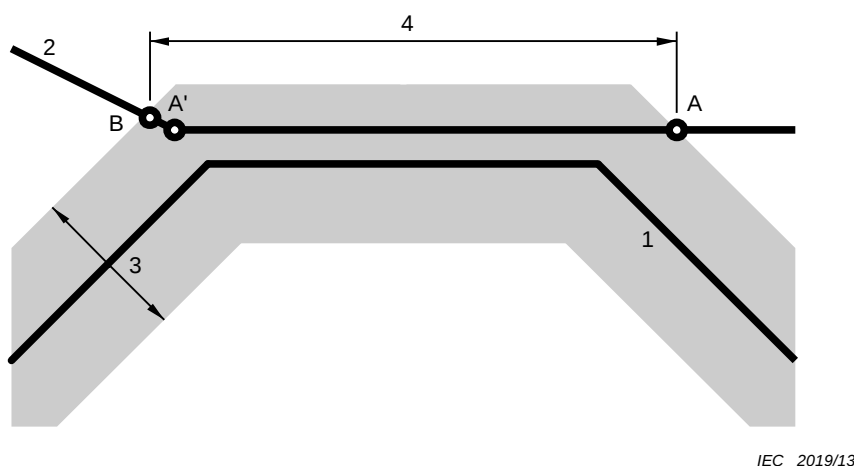
Figure A.1 – Présentation des tensions couplées comme fonction de la distance et de la résistivité du sol I



Légende

x Distance, en mètres, entre les axes des voies des systèmes ferroviaires en CA et en CC

**Figure A.2 – Présentation des tensions couplées
comme fonction de la distance et de la résistivité du sol II**



Légende

- 1 Réseau ferroviaire en CA
- 2 Réseau ferroviaire en CC
- 3 Zone d'interaction mutuelle engendrée par un réseau ferroviaire en CA
- 4 Longueur du parallélisme

IEC 2019/13

Figure A.3 – Relation entre longueur du parallélisme et zone d'interaction mutuelle engendrée par un réseau ferroviaire en CA

A.2.3 Variations des paramètres

Dans le cas où les paramètres du système à l'étude diffèrent des valeurs utilisées pour la dérivation de la zone d'interaction mutuelle en 6.2, la tension couplée dans le système en CC peut être estimée à l'aide des Figures A.1 et A.2.

La tension couplée dans le système en CC est linéaire par rapport:

- au courant de traction inducteur,
- à la longueur du parallélisme.

La tension couplée dans le système en CC est estimée linéaire par rapport:

- à la fréquence fondamentale (par exemple 16,7 Hz, 50 Hz ou 60 Hz).

La tension couplée dans le système en CC dépend également:

- de la distance entre les deux systèmes de traction électrique,
- du type de système de traction en CA,
- de la présence de conducteurs de retour,
- du filtrage par d'autres structures métalliques ou effets de conductance à la terre des rails de roulement, etc., appelé facteur de civilisation.

NOTE 1 L'expérience a montré que les tensions induites dans les zones très peuplées sont inférieures aux valeurs attendues d'après la théorie de base, en raison du filtrage supplémentaire produit par les structures conductrices mises à la terre, par les conduites d'eau enterrées et par les éléments similaires, parallèles au système ferroviaire. La conductance vers la terre de l'objet à l'étude joue également un rôle atténuateur.

NOTE 2 Les facteurs spécifiques génériques pour la comparaison entre différents systèmes de traction électrique avec ou sans autotransformateurs et/ou transformateurs survolteurs-dévolteurs ne peuvent pas être indiqués étant donné que la tension couplée dépend de la position de charge, des positions de la sous-station, des autotransformateurs et/ou des transformateurs survolteurs-dévolteurs.

L'approche utilisée dans la présente annexe est basée sur un système affecté isolé par rapport à la terre sur toute sa longueur et connecté à la terre à une extrémité seulement. Lorsque l'isolation n'est pas complète, par exemple les rails de roulement en CC, la

conductance à la terre des rails de roulement peut être prise en compte; voir également le facteur de civilisation.

Les éléments ci-dessus entraînent les facteurs de correction suivants:

- a) facteur de correction actuel: $C_I = I_{trc}$ en kA divisé par 1 kA;
- b) facteur de correction de la longueur du parallélisme: $C_L = L_{//}$ en km divisé par 4 km;
- c) facteur de correction de la fréquence: $C_f = 0,3$ pour 16,7 Hz,
 $C_f = 1,0$ pour 50 Hz;
 $C_f = 1,2$ pour 60 Hz;
- d) facteur de correction du système:
 - 1) facteur de correction du système standard: $C_S = 1,0$;
 - 2) facteur de correction de la présence du conducteur de retour:
 $C_S = 0,4 \dots 0,7$ sont des valeurs types;
 - 3) autotransformateur ou transformateur survolteur-dévolteur
facteur de correction du système: $C_S = 0,1 \dots 0,4$ sont des valeurs types;
- e) facteur de civilisation: $C_C = 0,1 \dots 0,5$ sont des valeurs types

En utilisant les facteurs de correction applicables, la distance et la résistivité du sol pour les graphiques des Figures A.1 et A.2, il est possible d'estimer la tension couplée dans le système en CC à l'aide de la Formule (A.1):

$$U_{couplé} = C_I \times C_L \times C_f \times C_S \times C_C \times U_{graph}(\rho, d) \quad (A.1)$$

où

$U_{graph}(\rho, d)$ est la tension à 50 Hz pour la résistivité du sol applicable à la distance indiquée.

En utilisant la Formule (A.1) et les graphiques des Figures A.1 et A.2, il est possible d'estimer la zone d'interaction mutuelle pour les autres systèmes.

I_{trc} est le courant dans la section du système de ligne de contact considérée, moyenné le long du parallélisme.

La valeur du facteur de correction du système pour la présence du conducteur de retour est réduite à mesure que la fréquence augmente.

EXEMPLE 1 À déterminer: Calculer la distance entre les voies d'un réseau ferroviaire en CA et d'un réseau ferroviaire en CC pour la zone d'interaction mutuelle pour un système équipé de conducteurs de retour présentant une longueur de parallélisme de 3,0 km, un courant de traction moyen de 0,5 kA, une fréquence de 50 Hz et une résistivité du sol de 300 Ω m. Pour le système en CA de référence indiqué en 6.2 présentant une résistivité du sol de 300 Ω m, une distance de 1 700 m est nécessaire pour obtenir une valeur de 35 V, comme indiqué à la Figure A.1. Cependant dans ce cas, la tension doit être corrigée par un facteur de $0,5 \times 0,75 \times 1 \times 0,45 \times 1 = 0,17$. En utilisant le graphique de la Figure A.2 pour 300 Ω m et la valeur de 210 V ($\approx 35 \text{ V} / 0,17$), on obtient une distance de 100 m.

EXEMPLE 2 À déterminer: Calculer la longueur maximale du parallélisme pour les voies d'un réseau ferroviaire en CA et d'un réseau ferroviaire en CC de la zone d'interaction mutuelle. Pour un système standard présentant une distance de 10 m entre les voies ferrées en CA et en CC, un courant de traction moyen de 2,0 kA, une fréquence de 16,7 Hz et une résistivité du sol de 1 000 Ω m, dans un environnement urbain pour une tension couplée de 35 V. Un facteur de civilisation de 0,3 est supposé. On obtient un facteur de correction de $2 \times 0,334 \times 1 \times 0,3 = 0,2$. Dans la Figure A.2, on obtient, pour une distance de 10 m et une résistivité du sol de 1 000 Ω m, une valeur de 350 V. À l'aide du facteur de correction de 0,2, une valeur de 70 V pour 4 000 m de parallélisme est obtenue. Il faut donc une longueur de 2 000 m pour obtenir 35 V.

A.3 Système en CC comme source

En général, l'influence d'un système ferroviaire en CC sur un système en CA par rapport aux tensions couplées dans un système en CA est minime. En raison de l'isolation du circuit de

retour depuis le sol, le gradient de tension à proximité du rail est abrupt, principalement au niveau de l'isolation des fixations du rail, et devient de plus en plus faible à mesure que l'on s'enfonce dans le sol. C'est pourquoi, par rapport aux systèmes en CA, la zone d'interaction mutuelle est relativement limitée.

Cependant, si en raison du couplage galvanique, par des parties conductrices ou partiellement conductrices, il existe une possibilité de transfert de tension, temporaire ou permanent, la dimension de la zone d'interaction mutuelle est identique à la dimension des parties conductrices ou partiellement conductrices.

Si la distance des circuits de retour des réseaux ferroviaires en CA et en CC devient inférieure à 50 m, les mêmes effets que ceux décrits en 5.2.2 sont escomptés.

Annexe B (informative)

Analyse des tensions combinées

La CEI 62128-1 traite des effets sur les êtres humains des systèmes en CA et en CC séparément, en tenant compte uniquement des fréquences fondamentales. La présente annexe propose une analyse des effets des tensions combinées.

Lorsque des tensions alternatives et continues sont présentes simultanément, une méthode établie sur le principe suivant peut être utilisée pour décider si l'effet combiné des tensions alternatives et continues est admissible ou non.

La propriété importante de la forme d'onde est la valeur de crête combinée qui, dans cet objectif, est définie comme la plus grande:

- a) valeur de crête positive relative à 0 V,
- b) valeur absolue de la valeur de crête négative relative à 0 V,
- c) valeur crête-à-crête.

Ces grandeurs sont expliquées dans la Figure B.1.

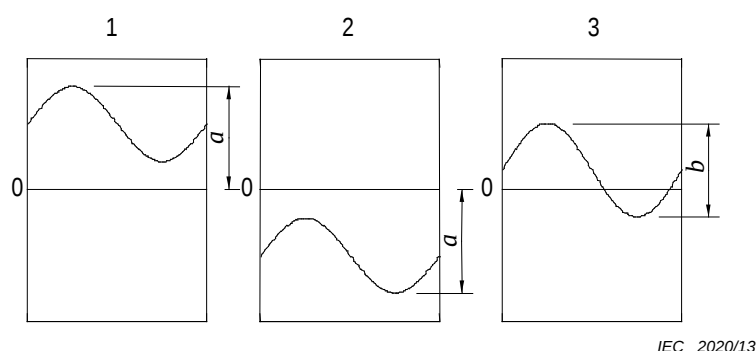
Comme indiqué dans l'Article 7, pour une durée $t > 1,0$ s, la tension est admissible si la valeur de crête combinée de la forme d'onde est inférieure à la valeur efficace admissible de la tension alternative conformément à la CEI 62128-1, multipliée par $2 \times \sqrt{2}$. La composante continue de la forme d'onde ne doit pas dépasser la tension continue admissible conformément à la CEI 62128-1.

La durée de la tension alternative et celle de la tension continue sont prises en considération lors de la déduction des tensions alternative et continue admissibles à l'aide des valeurs indiquées dans la CEI 62128-1.

La valeur de crête combinée comprend également les effets des fréquences plus élevées. Si le facteur de crête (facteur de crête = valeur de crête divisée par valeur efficace) de la composante alternative de la valeur de crête combinée est supérieur à $\sqrt{2}$, les effets sont pris en considération.

Dans le cas où une valeur efficace est trouvée pour la composante alternative, le facteur de crête est déterminé et la valeur efficace de la composante alternative telle qu'obtenue est multipliée par un facteur de correction de crête. Le facteur de correction de crête est le facteur de crête divisé par $\sqrt{2}$. Si le facteur de correction de crête est inférieur à 1, la valeur 1 est alors utilisée. Le facteur de crête est la valeur de crête de la tension divisée par la valeur efficace de la tension.

Dans le cas de simulations, des composantes de fréquence sont généralement obtenues sans relation de phase. Dans ce type de cas, la valeur de crête de la composante alternative est déterminée en ajoutant les valeurs de crête des composantes de fréquence individuelles de la composante alternative. À partir de cette valeur de crête, le facteur de crête et le facteur de correction de crête sont déterminés. Si des informations de phase sont disponibles, il est possible de les utiliser.



IEC 2020/13

Légende

- 1 Valeur de crête positive relative à 0 V
- 2 Valeur absolue de la valeur de crête négative relative à 0 V
- 3 Valeur crête-à-crête
- a Crête
- b Crête-crête

Figure B.1 – Définition de la tension de crête combinée

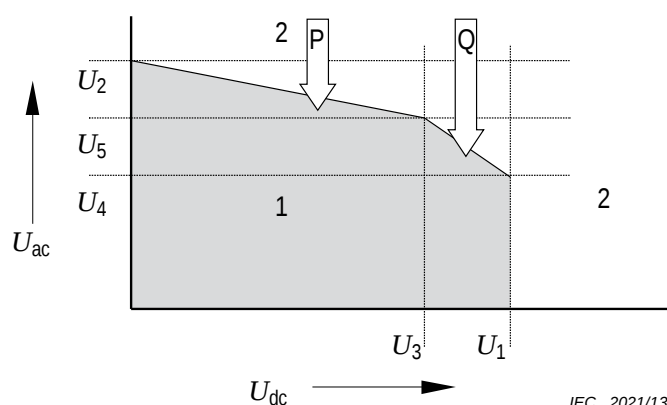
En général les trois conditions suivantes doivent être réunies pour garantir la sécurité des personnes pour une tension de contact combinée:

- d) La composante alternative efficace en prenant en compte le facteur de correction de la tension combinée doit être inférieure à la limite efficace en CA telle qu'indiquée dans la CEI 62128-1 pour la condition de durée applicable.
- e) La composante continue de la tension combinée est inférieure à la limite en CC spécifiée dans la CEI 62128-1, pour la condition de durée applicable.
- f) la tension combinée est inférieure à la limite en CA multipliée par un facteur dépendant de la durée:
 - 1) $t < 0,3$ s le facteur est $\sqrt{2}$;
 - 2) $t > 1,0$ s le facteur est $2\sqrt{2}$;
 - 3) $0,3 \text{ s} \leq t \leq 1,0 \text{ s}$ le facteur est déterminé par interpolation linéaire entre les valeurs mentionnées ci-dessus.

Pour une durée $t \leq 0,3$ s, la valeur de crête est utilisée, pour la durée $t \geq 1,0$ s, la valeur de crête combinée est utilisée pour les analyses. Dans l'intervalle $0,3 \text{ s} \leq t \leq 1,0 \text{ s}$, une interpolation entre la valeur de crête et la valeur de crête combinée a été utilisée.

Les tensions admissibles corporelle et de contact sont distinguées conformément à la durée indiquée dans la CEI 62128-1. Les tensions combinées admissibles sont situées à l'intérieur de l'enveloppe comme indiqué à la Figure B.2.

Pour les durées supérieures à 1,0 s, une approche crête-à-crête est adoptée, entraînant une ligne horizontale P dans la Figure B.2. Pour les durées inférieures à 0,3 s, une approche crête est adoptée, entraînant une pente de la ligne P égale à la pente de la ligne Q. Pour les durées entre 0,3 s et 1,0 s, une interpolation est utilisée.



Légende

- 1 Admissible
- 2 Non admissible

Figure B.2 – Présentation des tensions CA et CC combinées admissibles

Dans la Figure B.2, les abréviations suivantes ont été utilisées:

$$\alpha = 0 \quad t \geq 1 \text{ s}$$

$$\alpha = \frac{(U_{ac, \max} - U_{ac, 1,0})}{(U_{ac, 0,3} - U_{ac, 1,0})} \quad 0,3 \text{ s} \leq t \leq 1,0 \text{ s}$$

$$\alpha = 1 \quad t \leq 0,3 \text{ s}$$

$$U_1 = U_{dc, \max}$$

$$U_2 = U_{ac, \max}$$

$$U_3 = \frac{\sqrt{2} \times U_{ac, \max}}{(1 + \alpha)}$$

$$U_4 = \frac{2 \cdot U_{ac, \max}}{(1 + \alpha)} - \frac{U_{dc, \max}}{\sqrt{2}}$$

$$U_5 = \frac{U_{ac, \max}}{(1 + \alpha)}$$

où

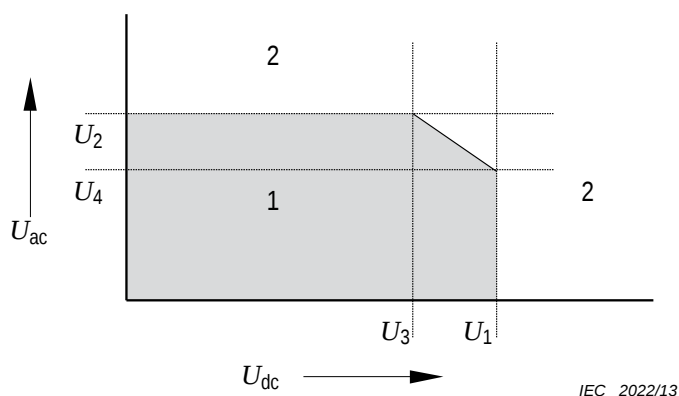
- $U_{dc \max}$ est la tension continue maximale admissible telle qu'indiquée dans la CEI 62128-1, pour la durée applicable;
- $U_{ac \max}$ est la tension alternative maximale admissible telle qu'indiquée dans la CEI 62128-1, pour la durée applicable;
- $U_{ac 0,3}$ est la tension alternative maximale admissible telle qu'indiquée dans la CEI 62128-1, pendant 0,3 s;
- $U_{ac 1,0}$ est la tension alternative maximale admissible telle qu'indiquée dans la CEI 62128-1, pendant 1,0 s.

Les pentes des lignes P et Q sont les suivantes:

Ligne P: $\text{slope} = S_P = \alpha \cdot \frac{-1}{\sqrt{2}}$

Ligne Q: $\text{slope} = S_Q = \frac{-1}{\sqrt{2}}$

A titre d'illustration, une présentation de CA combiné à CC pour une durée $\geq 1,0$ s est indiquée dans la Figure B.3.



Légende

- 1 Admissible
- 2 Non admissible

Figure B.3 – Présentation des tensions admissibles dans le cas d'une durée $\geq 1,0$ s à la fois pour le CA et le CC

Un exemple de l'utilisation des Figures 2 et 3 est illustré à la Figure B.4. Pour une durée de tension CA de 0,1 s et une durée de tension CC de 300 s, les tensions combinées dans la zone grisée sont admissibles.

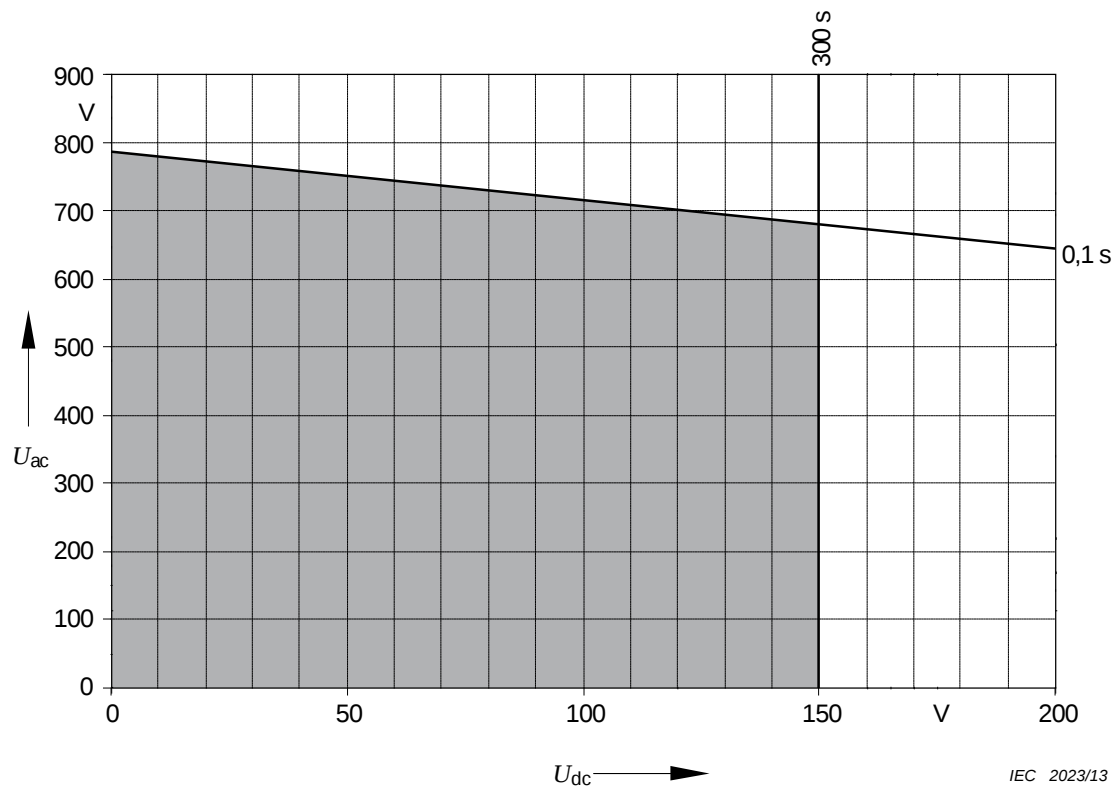


Figure B.4 – Tensions admissibles dans le cas d’une tension CA d’une durée de 0,1 s et d’une tension CC d’une durée de 300 s

Annexe C **(informative)**

Analyse et évaluation de l'interaction mutuelle

C.1 Généralités

A la fois les systèmes en CA comme en CC doivent être considérés comme collecteur et comme source. Pour le collecteur, les systèmes (électro)techniques ainsi que les êtres humains sont pris en considération. À l'aide des méthodes indiquées dans l'Article 5, l'influence d'un système ferroviaire sur un système adjacent est déterminée, en tenant compte de la charge applicable et des configurations du système.

C.2 Analyse de l'interaction mutuelle

L'analyse de la situation n'est pas nécessaire quand la distance est supérieure à la largeur de la zone d'interaction mutuelle telle que spécifiée à l'Article 6, à moins que des signes n'indiquent la possibilité d'interaction mutuelle. L'analyse de la situation est nécessaire lorsque la distance est inférieure à 50 m.

C.3 Configurations du système à prendre en considération

Pour un système ferroviaire, au moins deux types de situations sont distingués:

- a) les conditions de longue durée;
- b) les conditions de courte durée.

La condition de longue durée représentant le couplage maximal entre la source et le collecteur est déterminée avec certitude. L'évaluation de la condition d'exploitation est fondée sur la combinaison du trafic et de l'alimentation électrique qui fournit le pire couplage entre les systèmes. Les parties de la source et du système collecteur à prendre en compte sont également déterminées avec certitude.

NOTE Pour les besoins de l'analyse, les conditions de longue durée sont associées aux conditions d'exploitation et les conditions de courte durée sont associées aux conditions de défaut ou par exemple les opérations de commutation.

Bibliographie

CEI 60850, *Applications ferroviaires – Tensions d'alimentation des réseaux de traction*

CEI/TS 60479-1:2005, *Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques – Partie 1: Aspects généraux*

CEI/TS 60479-2:2007, *Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques – Partie 2: Aspects particuliers*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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