

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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





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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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



IEC 62128-2

Edition 2.0 2013-09

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 45.060

ISBN 978-2-8891-2000-0

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 Identification of hazards and risks	7
5 Criteria for stray current assessment and acceptance.....	8
5.1 General.....	8
5.2 Criteria for the protection of the tracks	8
5.3 Criteria for systems with metal reinforced concrete or metallic structures	9
5.4 Specific investigations and measures	10
6 Design provisions	10
6.1 General.....	10
6.2 Return circuit.....	10
6.2.1 General	10
6.2.2 Resistance of running rails	11
6.2.3 Track system	11
6.2.4 Return conductors	11
6.2.5 Return cables	11
6.2.6 Electrical separation between the return circuit and system parts with earth-electrode effect	12
6.2.7 Rail-to-rail and track-to-track cross-bonds	12
6.3 Non-traction related electrical equipment.....	12
6.4 Tracks of other traction systems.....	12
6.5 Return busbar in the substation.....	12
6.6 Level crossings	13
6.7 Common power supply for tram and trolleybus	13
6.8 Changeover from the mainline to depot and workshop areas	13
7 Provisions for influenced metallic structures	13
7.1 General.....	13
7.2 Tunnels, bridges, viaducts and reinforced concrete slab track	13
7.2.1 Basic proceeding	13
7.2.2 Longitudinal interconnection	13
7.2.3 Sectionalized reinforcement.....	14
7.2.4 External conductive parts	14
7.2.5 Cables, pipework and power supply from outside.....	14
7.3 Adjacent pipes or cables	15
7.4 Voltage limiting devices.....	15
8 Protective provisions applied to metallic structures.....	15
9 Depots and workshops	15
10 Tests and measurements	16
10.1 Principles	16
10.2 Supervision of the rail insulation.....	16
10.2.1 Continuous monitoring of the rail potential.....	16
10.2.2 Repetitive monitoring.....	16
Annex A (informative) Measurement of track characteristics	18

Annex B (informative) Stray current assessment – Rail insulation assessment using rail potential	26
Annex C (informative) Estimation of stray current and impact on metal structures	28
Bibliography	31
Figure A.1 – Measurement of the rail resistance for a rail of 10 m length	18
Figure A.2 – Measuring arrangement for the conductance per length G'_{RS} between rails and metal reinforced structure	19
Figure A.3 – Determination of the conductance per length G'_{RE} for track sections without civil structures	20
Figure A.4 – Measuring arrangement for the local conductance per length	21
Figure A.5 – Test of insulating rail joints	23
Figure A.6 – Test of insulating joints in metal reinforced structures	24
Figure B.1 – Continuous monitoring of the rail potential	26

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

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 62128-2 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways.

This second edition cancels and replaces the first edition issued in 2003. It constitutes a technical revision.

The main technical changes with regard to the previous edition are a consequence of the revision of the related European Standard, EN 50122-2. Main changes are the restructuring of all clauses.

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

FDIS	Report on voting
9/1804/FDIS	9/1833/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 2: Provisions against the effects of stray currents caused by d.c. traction systems

1 Scope

This part of IEC 62128 specifies requirements for protective provisions against the effects of stray currents, which result from the operation of d.c. traction systems.

As experience for several decades has not shown evident corrosion effects from a.c. traction systems and actual investigations are not completed, this standard only deals with stray currents flowing from a d.c. traction system.

This standard applies to all metallic fixed installations which form part of the traction system, and also to any other metallic components located in any position in the earth, which can carry stray currents resulting from the operation of the railway system.

This standard applies to all new d.c. lines and to all major revisions to existing d.c. lines. The principles may also be applied to existing electrified transportation systems where it is necessary to consider the effects of stray currents.

It provides design requirements to allow maintenance.

The range of application includes:

- 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.

This 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 from the contact line system and are not endangered by the traction power supply system,
- f) suspended cable cars,
- g) funicular railways.

This standard does not specify working rules for maintenance.

2 Normative references

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

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

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

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

IEC 62128-3, *Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit – Part 3: Mutual interaction of a.c. and 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 Identification of hazards and risks

DC traction systems can cause stray currents which could adversely affect both the railway concerned and/or outside installations, when the return circuit is not sufficiently insulated versus earth.

The major effects of stray currents can be corrosion and subsequent damage of metallic structures, where stray currents leave the metallic structures. There is also the risk of overheating, arcing and fire and subsequent danger to persons and equipment both inside and outside the railway or trolley bus system.

The following systems, which can produce stray currents, shall be considered:

- d.c. railways using running rails carrying the traction return current including track sections of other traction systems bonded to the tracks of d.c. railways;
- d.c. trolleybus systems which share the same power supply with a system using the running rails carrying the traction return current;
- d.c. railways not using running rails carrying the traction return current, where d.c. currents can flow to earth or earthing installations.

All components and systems which can be affected by stray currents shall be considered such as:

- running rails,
- metallic pipe work,
- cables with metal armour and/or metal shield,
- metallic tanks and vessels,
- earthing installations,
- reinforced concrete structures,
- buried metallic structures,
- signalling and telecommunication installations,

- non-traction a.c. and d.c. power supply systems,
- cathodic protection installations.

Any provisions employed to control the effects of stray currents shall be checked, verified and validated according to this standard.

The system design shall be completed sufficiently early so that the results can be taken into account in the essential system parameters, which influence the stray current effects, such as the spacing of the substations and in the design of the civil structures, see also 5.4 and Clause 6.

The entity responsible for the design and erection of the railway infrastructure shall make sure that electrical requirements for railway related civil structures are met.

In case of major revisions of existing lines the effects on the stray current situation shall be assessed by calculation and/or by measurements.

If stray current provisions affect electrical safety, protective provisions against electric shock according to IEC 62128-1 shall take precedence over provisions against the effects of stray currents.

5 Criteria for stray current assessment and acceptance

5.1 General

The amount of stray currents and their effects depend on the overall system design of the traction power supply. Stray currents leaving the return circuit can affect the return circuit itself and neighbouring installations, see Clause 4.

In addition to the operating currents, the most important parameters for the amount of stray current are:

- the conductance per length of the tracks and the other parts of the return circuit,
- the distance of the substations,
- the longitudinal resistance of the running rails,
- spacing of cross-bonds.

If the railway system meets the requirements and measures of this standard, the system is assumed to be acceptable from the stray current point of view.

5.2 Criteria for the protection of the tracks

The most important influencing variable for stray currents leaving the tracks is the conductance per unit length between track and earth. The corrosion rate is the main aspect for the assessment of risk.

The criteria for the protection of the tracks shall comply with this subclause, except there are national regulations providing an equivalent level of protection.

The rail potential provides the main information about the relevant parameters, which represent the stray currents. These parameters are the traction currents, the longitudinal resistance of the running rails, the resistance to earth and the length of the feeding sections. The precondition for this proceeding is that there is no direct electrical connection either accidental or intended to earthing installations.

Experience proves that there is no damage in the tracks over a period of 25 years, if the average stray current per unit length does not exceed the following value:

$$I'_{\max} = 2,5 \text{ mA/m}$$

(average stray current per length of a single track line).

For a double track line the value for the maximum average stray current should be multiplied by two. For more than two tracks the value increases accordingly. For the averaging process, only the total positive parts of the stray current over 24 h or multiples are considered.

If the following values for the conductance per length G'_{RE} and average rail potential U_{RE} are not exceeded during the system life-time, further investigations according to 5.4 need not be performed.

$$- \quad G'_{\text{RE}} \leq 0,5 \text{ S/km per track and } U_{\text{RE}} \leq + 5 \text{ V for open formation} \quad (1)$$

$$- \quad G'_{\text{RE}} \leq 2,5 \text{ S/km per track and } U_{\text{RE}} \leq + 1 \text{ V for closed formation} \quad (2)$$

For the average rail potential shift U_{RE} only positive values of the rail potential are considered. The averaging period shall be 24 h or multiples.

A guide value for the sampling rate is 2 per second.

If the requirements in Formulas (1) and (2) are not met, an alternative value for G'_{RE} shall be calculated and used for the design, applying Formula (3).

$$G'_{\text{RE}} = \frac{I'}{U_{\text{RE}}} \quad (3)$$

where

$I' = 2,5 \text{ mA/m per track or the value coming from the investigation in 5.4.}$

For a double track line the value for the maximum conductance per length should be multiplied by two. For more than two tracks the values increase accordingly.

As it is not easy to measure the stray currents directly, the measurement of the rail potential is a convenient method. According to Formula (3), the acceptable conductance per length can be calculated for a single track line.

NOTE Simulation of the traction power supply for scheduled train operation can provide values for the stray current per length for design purposes. A method of calculating dead-end tracks is given in Clause C.1. This is a conservative method, because the actual values are lower.

When the construction phase has been completed, it shall be proven that the permissible conductance per length according to Formulas (1), (2) or (3) is fulfilled. Annex A indicates proven methods for the measurement.

During operation, compliance with the limits of conductance per length according to Formulas (1), (2) or (3) shall be maintained.

5.3 Criteria for systems with metal reinforced concrete or metallic structures

In systems with metal reinforced concrete or metallic structures, such as:

- reinforced track bed,
- tunnels, or
- viaducts,

the impact on the structures shall be considered.

The voltage shift of the structure versus earth is an additional criterion for assessment.

The criteria for the protection of structures shall comply with this subclause, except there are national regulations providing an equivalent level of protection. Experience has shown, that for non-cathodically protected structures there is no cause for concern, if the average value of the potential shift between the structure and earth in the hour of highest traffic does not exceed + 200 mV for steel in concrete structures. For buried metal structures the values depend on soil resistivity and the material.

NOTE 1 For European countries EN 50162:2004 gives appropriate values.

NOTE 2 Experience has shown that in case the requirements given in this Standard are fulfilled, impacts on non-railway installations caused by stray currents are acceptable.

In order to avoid inadmissible stray current effects at the civil structures the longitudinal voltage between any two points of the through connected metal reinforced tunnel structure should be calculated. The maximum longitudinal voltage shall be smaller than the permissible potential shift. As an example for calculation see Clause C.2. This is a conservative procedure which ensures that the actual values for the structure potential with respect to earth will be lower.

5.4 Specific investigations and measures

If the requirements stated in 5.2 and 5.3 are not achieved, or if other methods of construction are planned, a study shall be carried out at an early planning stage. The study becomes also necessary in case of major revisions of existing lines, when the stray current situation is likely to become worse.

The possible impact of stray current corrosion shall be investigated, where the following aspects are included, such as:

- insulation from earth of the rails and connected metallic structures,
- humidity of the track bed,
- longitudinal resistance of the running rails,
- number of and distance between the substations,
- effects of inequalities in the no load voltages of substations,
- substation no-load voltage and source impedance,
- timetable and vehicles,
- neighbouring metallic structures.

Clause 6 and Clause 7 show suitable corrective provisions.

6 Design provisions

6.1 General

Any provisions employed to control the effects of stray currents shall be checked, verified and validated according to this standard.

6.2 Return circuit

6.2.1 General

In order to minimise stray current caused by a d.c. traction system, the traction return current shall be confined to the intended return circuit as far as possible.

As the return circuit in case of d.c. traction systems usually is not connected to earth, safety requirements for the rail potential according to IEC 62128-1, 6.2.2 and Clause 9, shall be fulfilled.

6.2.2 Resistance of running rails

The longitudinal resistance of the running rails shall be low. Therefore, rail joints shall be welded or connected by rail joint bonds of low resistance such that the longitudinal resistance of the rails is not increased by more than 5 %. This does not include the insulated rail joints of signalling system.

In case of impedance bonds at insulated rail joints the total resistance may be increased by more than 5 %.

The longitudinal resistance can be reduced by the use of rails with greater cross-section and/or cross-bonding of the running rails and/or the tracks where signalling considerations allow.

6.2.3 Track system

A high level of insulation from earth of the running rails and of the whole return circuit is required, when the running rails are used as part of the return circuit.

The track shall be so designed that the insulation quality of the rails toward earth will not be diminished substantially by water. In order to fulfil the values given in Formulas (1), (2) and (3) of 5.2 the water drainage of the substructure of the running rails is essential.

The values given for the conductance per length apply to a track consisting of two running rails with tie bars as well as the attached system parts.

EXAMPLE 1 The following provisions can be made to achieve the required values of the conductance G'_{RE} for rails laid in an open formation:

- clean ballast;
- wooden sleepers or reinforced-concrete sleepers with insulating fastening;
- distance between running rails and ballast.

EXAMPLE 2 The following provisions can be made to achieve the required values of the conductance G'_{RE} for rails laid in a closed formation:

- fitting of the running rails in an insulating resin bed;
- provision of insulating intermediate layers between the tracks and the bearing systems;
- effective drainage.

6.2.4 Return conductors

Return conductors, if required, are laid in parallel to the running rails and shall be connected to them at regular intervals. They shall be insulated from earth.

6.2.5 Return cables

Return cables connect the running rails with the substation. They shall have an insulating outer sheath, so that no stray currents can leave or enter.

Where mechanical damage is likely, return cables should have an additional protection.

6.2.6 Electrical separation between the return circuit and system parts with earth-electrode effect

In order to reduce stray currents, no part of the return circuit shall have a direct conductive connection to installations, components or metallic structures which are not insulated from earth.

In case of direct conductive connection to installations, components or metallic structures which are not insulated from earth, the values given in Formulas (1), (2) and (3) of 5.2 should be fulfilled for the return circuit and parts connected to it.

If a connection to the return circuit is unavoidable for reasons of protection against electric shock, provisions shall be taken to reduce the stray current effects. These can be for example:

- open connection with the return circuit, in this case the voltage-limiting device shall satisfy the requirements given in IEC 62128-1, Annex F;
- insulation of the equipment or components that are connected to the running rails, from foundations or components that are earthed;
- insulation of the metal reinforcement of the structure from earth.

For exceptions regarding workshops and similar locations see Clause 9.

A conductor rail insulated from earth, the so-called "fourth rail", can be used for the traction return current. If this is a live part and not connected to the running rails, usually no stray currents occur. In the case of conductor rail systems with third and fourth rails, each conductor rail shall be insulated from earth depending on the nominal voltage of the system according to IEC 60850.

6.2.7 Rail-to-rail and track-to-track cross-bonds

Rail-to-rail cross-bonds, tie bars, track-to-track cross-bonds and other bonds which can come in contact with earth shall be insulated.

6.3 Non-traction related electrical equipment

Non-traction related electrical equipment shall be installed according to IEC 62128-1, Clause 7.

6.4 Tracks of other traction systems

Generally, the tracks of other traction systems shall not have any direct conductive connection to tracks of d.c. traction systems.

Tracks without contact line may be connected to the return circuit in special cases if they fulfil the requirements given in 6.2.3.

If running rails are used by d.c. and a.c. traction systems, additional provisions shall be made against the stray current hazard and against impermissible touch voltages, see IEC 62128-3.

Any additional provisions shall not affect other safety criteria, particularly those that are made to minimise the touch voltage as well as those that are made to operate the power supply, track circuits and communication systems.

6.5 Return busbar in the substation

The substation shall be arranged so that direct current does not flow in the substation structure earth. Risks from stray current relating to the earthing of equipment due to maintenance work shall be taken into account. The return busbars in substations and similar

installations shall be operated so that they are insulated from earth. Where required for safety reasons a voltage-limiting device (minimum type O) to connect between the return busbar and earth shall be provided in accordance with IEC 62128-1, Annex F. For substations in depots and workshops see Clause 9.

6.6 Level crossings

At level crossings, where the running rails are laid in a closed formation, care shall be taken that the value of the conductance per length does not exceed the value of the neighbouring tracks.

6.7 Common power supply for tram and trolleybus

If trolleybuses and tramways receive their traction power from the same substation, one of the trolley contact wires may be connected with the track return system according to IEC 62128-1. In this case it shall be checked whether the protective provisions for both systems to minimise stray current effects are still sufficient.

The insulation of the running rails shall be coordinated with other provisions ensuring that acceptable touch voltages according to IEC 62128-1 are not exceeded during operation, in case of a short-circuit and in case of an earth fault.

6.8 Changeover from the mainline to depot and workshop areas

See Clause 9.

7 Provisions for influenced metallic structures

7.1 General

The resistance between conductive structures which are not insulated from earth and the track return system shall be high. Except in the case of depots and workshops (see Clause 9) earth and track return systems shall not be connected directly. A direct connection to earth may also be allowed in certain industrial systems with d.c. traction taking into consideration the particular surrounding conditions, e.g. open cast coal mines.

7.2 Tunnels, bridges, viaducts and reinforced concrete slab track

7.2.1 Basic proceeding

In a structure which incorporates conductive components it can be necessary to make provisions to limit possible effects of stray currents. The requirements for protection against electric shock shall be taken into account. This is applicable to tunnels, viaducts, bridges and reinforced concrete slab tracks.

EXAMPLE The provisions to reduce the stray current effects in tunnel structures with conductive components can depend on:

- whether the predominant source of the stray current is internal or external to the tunnel,
- whether the main priority is to protect the tunnel metallic structures, or to protect other metallic structures external to the tunnel and the railway.

7.2.2 Longitudinal interconnection

In the case of tunnels, viaducts, bridges or slab tracks with metal reinforced concrete structures it is possible that stray currents can flow into such structures and from there influence other outside non-railway conductive structures. In this case the effect of such influence shall be reduced by means of equipotential bonding in the lower part of the individual tunnel sections or other conductive structures to achieve the voltage requirements according to 5.3. This equipotential bonding shall be achieved by:

- a sufficient number of reinforcing bars,
- mats connected together,
- other conductive structural parts,
- if necessary, additional conductors of appropriate cross-section laid within the tunnel.

Individual structure sections in particular cases may be excepted from the equipotential bonding of the rest of the structure. The equipotential bonding of the other structure sections can be achieved by means of an insulated cable extending over the segregated structure section.

For stray current protection purposes only, it is possible to achieve adequate electrical conductivity of reinforcing bars within a structure section by means of conventional steel wire wrapping.

7.2.3 Sectionalized reinforcement

In areas where the influence of stray currents on structures outside the tunnel is not significant and when a sufficiently high value of rail to earth resistance cannot be achieved, e.g. due to humidity or ballast which is not sufficiently clean, the main consideration shall be the corrosion of the tunnel metallic structures.

Reinforced concrete tunnel structures shall be divided into longitudinal sections by insulating joints in the case where stray currents from other adjacent systems can flow along the tunnel structure, thus causing an undesirable electrical connection between different areas.

If the resistance between these structures and earth is relatively high, for example in rock tunnels, the reinforced concrete tunnel structures may also be divided into longitudinal sections by insulating joints.

If there is any risk of an impermissible voltage between simultaneously accessible parts, refer to IEC 62128-1.

At ring joints between each section, terminals shall be provided for test purposes. A reliable electrical connection shall be made between these terminals and the longitudinal reinforcing bars. A recommended measurement method is given in Clause A.6.

Normally, no connection will be made between the terminals of adjacent sections.

7.2.4 External conductive parts

The reinforcement of steel-reinforced concrete tunnels and tunnel components consisting of conductive materials shall not have any electrical connection to pipes and cables located outside the tunnel or to the return circuit or to any adjacent systems which are not insulated from earth. If this electrical separation is not possible, for instance due to different earthing systems being present in one building danger of stray current exchange and in consequence danger of stray current corrosion exists. In this case continuous monitoring shall be provided, see 10.2.1, and rail to structure earth connections shall be removed promptly.

Connections of the tunnel reinforcement to additional earthing systems are permissible in order to satisfy earthing requirements for protective provisions.

7.2.5 Cables, pipework and power supply from outside

Precautions are necessary in order to avoid possible stray current exchange between structure earth and remote non-railway installations. At the entrance to metal reinforced concrete or metallic railway structures, such as tunnels and viaducts, depots and workshops, all metallic pipe work, hydraulic lines, cable sheaths, and connections to earth, coming from

outside shall be separated electrically from the structure earth in order to avoid any conductive connection to external earth electrodes.

EXAMPLE This can be achieved by:

- insulating parts in the pipes or alternatively complete insulation of the pipes from the structure earth,
- installation of transformers with separate windings or by the use of the TT system in accordance with IEC 62128-1.

When necessary for safety reasons, every section of metal pipe may be connected to the structure earth.

7.3 Adjacent pipes or cables

Where d.c. traction systems are close to buried pipes or cables, efforts shall be made to ensure that the conductive parts are kept as far away as practicable to minimise stray current interference.

For the assessment of possible stray current impact the measurement method given in Clause A.4 can be used.

Experience has shown that for crossings of tracks with pipes or cables a minimum distance of 1 m is adequate for stray current protection purposes.

7.4 Voltage limiting devices

If voltage-limiting devices (VLD) between the return circuit and the metallic components of the structure are provided as a protective provision to prevent impermissible voltages the protective provisions against the effects of stray current shall be satisfied; see IEC 62128-1, Annex F.

8 Protective provisions applied to metallic structures

The provisions in this standard are intended to reduce stray currents in order to reduce stray current corrosion. Conventional protective provisions against natural corrosion for non-railway installations can be used if they are considered to be necessary. If additional protective methods are taken into account, the overall protection concept shall be agreed with affected parties and comply with the relevant standards concerning stray current corrosion.

The connection of any metallic structure to return bus bar in a substation even via a polarised electric drainage device will increase the overall stray current. Therefore, the connection of any metallic structure to the return bus bar should be made only with due consideration given to the overall effect on the running rails and other structures which could be influenced. Polarised electric drainage is generally applicable only when the structure to be protected is remote from other structures.

NOTE Examples: see EN 50162: 2004.

9 Depots and workshops

As the tracks in depots and workshops are concentrated on a small area, no major voltage drop arises in this track area. Therefore, in deviation from the generic requirement in 7.1 a direct connection between the structure earth and the return circuit is tolerable for equipotential bonding for safety reasons. As a consequence of that, the running rails in depots or workshops and similar locations shall be separated from the main line by insulating rail joints and the traction power shall be supplied by separate transformer-rectifier units. Exceptions are allowed provided a stray current study proves no negative effects can occur. For touch voltage across the rail joints see IEC 62128-1, Table 6.

In case of common traction power supply of depot and main line, appropriate provision shall be taken for the prevention of damage caused by stray currents, and for the continuity of the return circuit for both the main line and the depot.

If the running rails of the depot and workshop area are connected to the main line, the insulation of the return circuit versus earth shall be the same as on the main line.

In order to fulfil the safety requirements, voltage-limiting devices (VLD-O) should be installed if necessary. Their setting shall fulfil the values for depots and workshops according IEC 62128-1, 9.3.2.3.

10 Tests and measurements

10.1 Principles

In order to avoid corrosion damage in the return circuit according to 5.2 and damage in neighbouring metallic structures according to 5.3, the stray current situation shall be assessed during commissioning and checked during operation. Corrective measures can then be taken where necessary.

Direct measurement of stray currents is difficult, alternative methods have been proven to be practical. They are based on the measurement of the resistance of the return circuit to earth or the voltage against earth resulting from train operation. Changes in the conductance per length need preferably be investigated and countermeasures shall be started, if required by the stray current situation.

Unintended return circuit to earth connections shall be removed sufficiently early so that significant damage will not be caused by stray current corrosion.

For stray current assessments a recognised method shall be used at certain intervals. Annex A lists appropriate procedures.

10.2 Supervision of the rail insulation

10.2.1 Continuous monitoring of the rail potential

The rail potential along the line changes, when the conductance per length changes significantly, e.g. in case of low-resistive electrical connections between the return circuit and earth.

During operation the rail potential is compared with a reference situation. The reference situation is the situation in which the system meets the requirements according to this standard.

Changes in the rail potential along the line indicate deficiencies in the conductance per length including individual rail-to-earth connections of the return circuit, which can affect the stray current situation.

Continuous monitoring of the rail potential supports the supervision of the continuity of the return circuit, detects connections between the return circuit and earth and pollution of rail fastenings. A recommended method is given in Clause B.1.

10.2.2 Repetitive monitoring

10.2.2.1 General

If a continuous monitoring is not applied, repetitive monitoring shall be carried out.

The time interval for the repetitive inspections shall be fixed depending on the specific risk situation.

For the repetitive monitoring a period of five years is recommended.

10.2.2.2 Repetitive measurement of the conductance per length of the running rails

The requirements for conductance per length according to 5.2 shall be fulfilled. Proven methods for measurement are given in Clauses A.1 to A.5.

10.2.2.3 Repetitive measurement of the rail potential

The rail potential along the line changes when electrical connections between the return circuit and earth arise or when the conductance per length of the running rails changes. Such situations can be detected by measurements, if other influencing parameters, e.g. operation currents and train schedule do not change significantly.

Successive measurements should preferably use the same locations and methods.

If the repetitive measurement of the rail potential along the line in regular intervals detects deficiencies in the rail insulation, countermeasures shall be started to improve the situation. A recommended method for measurement is given in Clause B.2.

Annex A (informative)

Measurement of track characteristics

A.1 Rail resistance

The measurement of the rail resistance is necessary to obtain the relation between the rail current and the resulting voltage for the subsequent determination of the conductance per length, e.g. in a tunnel. Figure A.1 shows the recommended measuring arrangement.

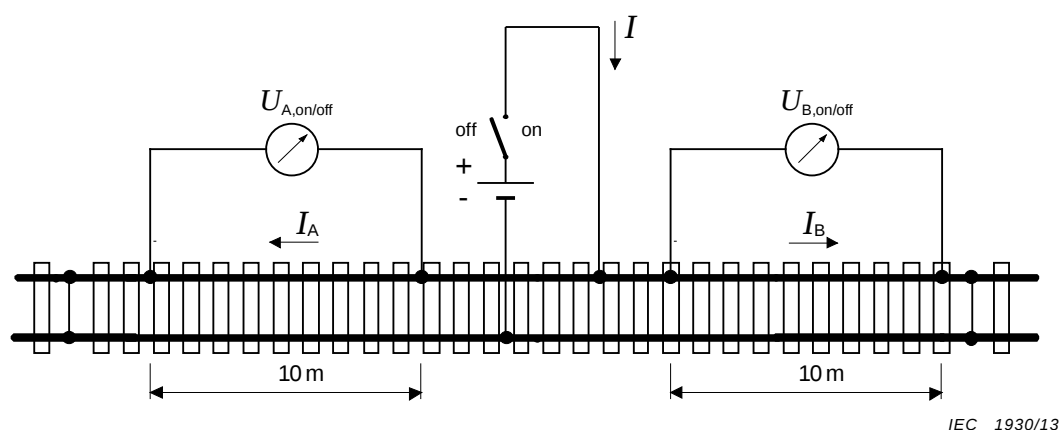


Figure A.1 – Measurement of the rail resistance for a rail of 10 m length

The measuring d.c. current I is periodically to be switched on and off in order to check other effects during the off-period.

Variation of reading values should be taken into account by several measurements. Significant differences resulting from changed polarity of the measuring circuit should be investigated.

The method is valid only if these measurements are performed without any traction current. Where this is not practical, the measurements should be made at the same time in order to eliminate the effect of currents other than the measuring current.

The measuring points at the running rails should be at least 1 m away from the injection points.

The longitudinal voltage drop U_A and U_B is measured for each of the two adjacent sections of rail. The rail resistance is calculated according to Formula (A.1).

$$R_{R10m} = \frac{(U_{A,on} - U_{A,off}) + (U_{B,on} - U_{B,off})}{I} \quad (A.1)$$

where

I is the injected current, in amperes (A);

R_{R10m} is the longitudinal resistance of a rail section of 10 m of the rail in ohms (Ω);

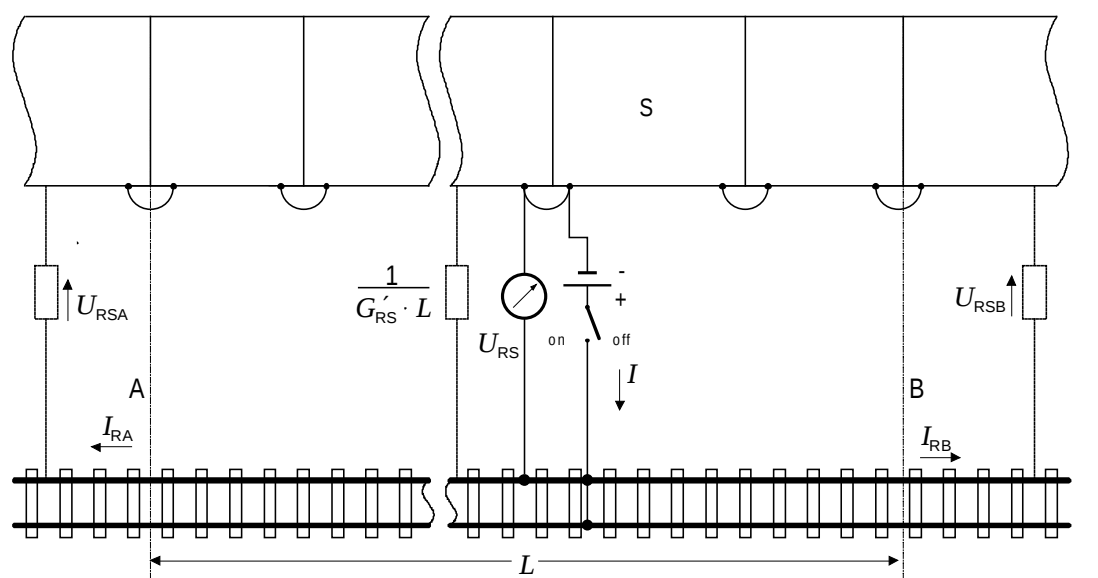
$U_{on, off}$ is the voltage drop in the rail in volts (V), with and without injected current.

The measurement assumes that no rail-to-rail cross-bonds or track-to-track cross-bonds, e.g. impedance bonds, are connected within the measuring area.

A.2 Conductance per length between running rails and metal reinforced structures

During measurement the running rails are to be electrically separated from the running rails outside the area of the metal reinforced structures via insulating rail joints or rail cuts. It is practical in case of tunnels to locate the separation at the transition ramp towards the at-grade tracks.

A special measuring arrangement and measuring sequence allows the measurement of the conductance per length of running rails against metal reinforced structures without the need of additional insulating rail joints in the track area of the structure. The conductance per length G'_{RS} is to be measured in accordance with Figure A.2 and to be calculated in accordance to Formula (A.2), averaging the three measured voltage values.



IEC 1931/13

Key

S metal reinforced structure

Figure A.2 – Measuring arrangement for the conductance per length G'_{RS} between rails and metal reinforced structure

The measuring d.c. current I , injected between the rails and the structure is to be switched on and off periodically.

$$G'_{RS} = \frac{1}{L} \times \frac{I - I_{RA} - I_{RB}}{(\Delta U_{RS} + \Delta U_{RSA} + \Delta U_{RSB})/3} \quad \Delta U = U_{\text{on}} - U_{\text{off}} \quad (\text{A.2})$$

where

G'_{RS} is the conductance per length between rails and structure, in Siemens per kilometre (S/km, with 1 S/km = 1/Ωkm);

I is the injected current, in amperes (A);

I_{RA} , I_{RB} is the current flowing beyond the ends A, B of the measured section, in amperes (A);

- U_{RS} is the voltage between the rail and the structure at the point of injection, in volts (V);
- U_{RSA}, U_{RSB} is the voltage between the rail and the structure at the point A, B of the structure, in volts (V);
- L is the length of the section to be measured, in kilometres (km).

The currents I_{RA} and I_{RB} can be obtained with help of the voltage drop measurement of the rail described in Clause A.1.

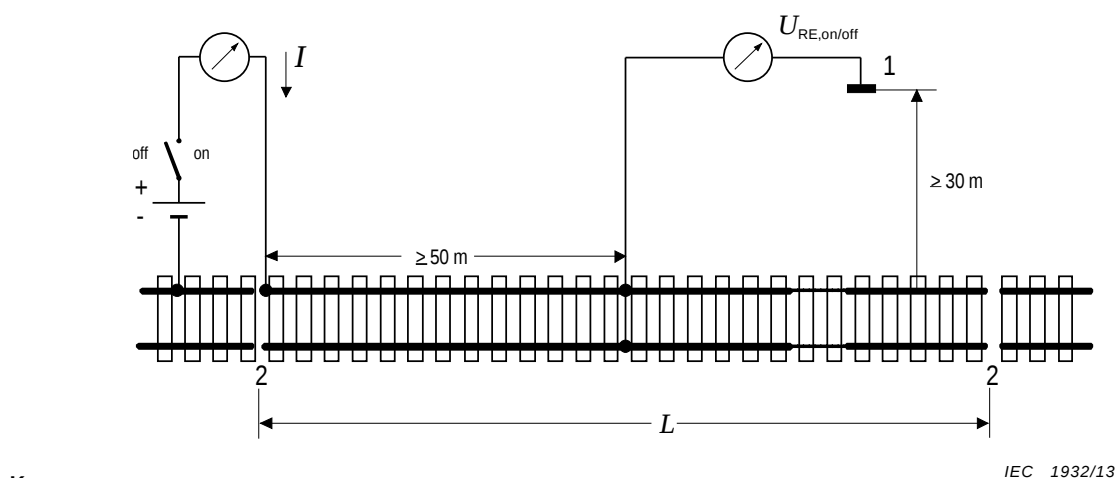
It should be ensured that the measurements are not influenced by rail to earth connections or activated voltage-limiting devices (VLD).

A.3 Conductance per length for track sections without civil structure

The track section to be examined is separated from the continuing lines by insulated rail joints or rail cuts. The length of the track section should not exceed 2 km.

In case the length of the track section exceeds 2 km, the method of Clause A.4 can be used on locations of interest or insulated rail joints have to be provided in advance.

The conductance per length of the separated track section is determined in accordance with the method shown in Figure A.3 and Formula (A.3).



Key

- 1 reference electrode
- 2 insulating rail joint

NOTE Preferably copper/copper sulphate electrodes should be used.

Figure A.3 – Determination of the conductance per length G'_{RE} for track sections without civil structures

$$G'_{RE} = \frac{1}{L} \times \frac{I}{U_{RE,on} - U_{RE,off}} \quad (A.3)$$

where

- G'_{RE} is the conductance per length between track and earth in Siemens per kilometre with $1 \text{ S} = 1/\Omega$;
- I is the injected current, in amperes (A);
- U_{RE} is the voltage between the rail and earth;
- L is the length of the section to be measured in kilometres (km).

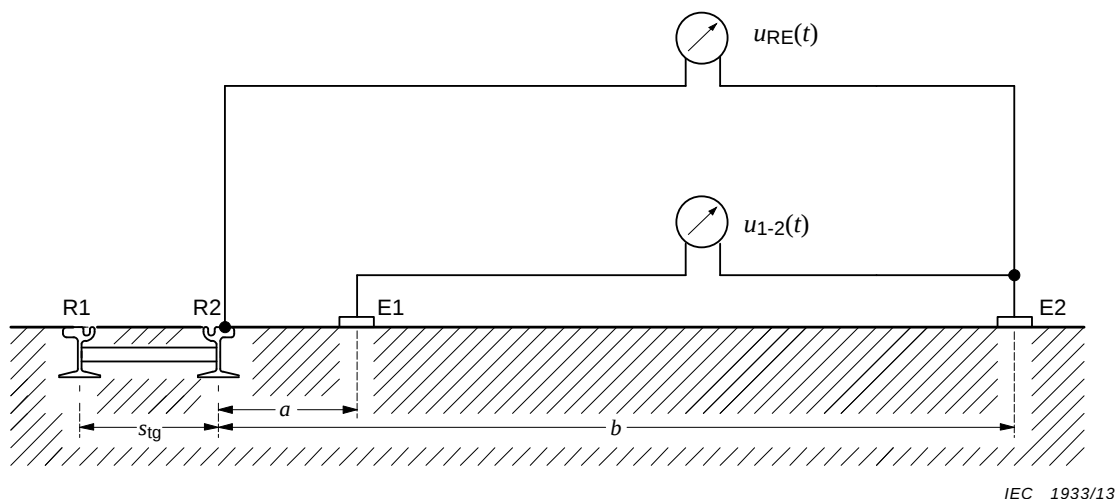
A measuring d.c. current I is injected into the rails at both sides of the insulated rail joints. The current should be periodically switched on and off. The measuring current I flows from the rails of the track section to be examined into the earth and from there into the rails of the connected track section. The voltage between rail and earth U_{RE} and the measuring current are decisive for the determination of the conductance per length. The voltage should be measured using a reference electrode. This electrode is to be placed at least 50 m away from the injection point and at least 30 m away from the track. Additionally rail-to-earth connections, e.g. VLDs shall be checked on correct status in order not to disturb the measurement results.

A.4 Local conductance per length for track sections without civil structure

The average conductance per length of an up to 2 km long line above earth is investigated by way of the procedure shown in Clause A.3. In contrast to that the local conductance per length and the stray current influence at the location of measurement can be assessed by way of the method shown in Figure A.4 and in Formulas (A.4) to (A.6). It is not necessary to cut the rails for the measurement. The measurement is performed during operation. The rail potential u_{RE} is registered between the running rails and a reference electrode E2 placed on the earth at a distance b from the running rail R2. The rail potential gradient u_{1-2} is registered by way of a second electrode E1, which is placed at the distance a from the running rail R2, and the remote electrode E2. Preferably copper/copper sulphate electrodes should be used.

Both voltages are registered by a data logger. The rail potential gradient ΔU_{1-2} has to be plotted as a function of the rail potential ΔU_{RE} . The slope of the linear regression of this function is the stray current transfer ratio m_{SR} .

Moreover, the soil resistivity ρ_E near the electrode E1 is to be determined.



IEC 1933/13

Key

R1	running rail 1
R2	running rail 2
E1	electrode 1 (close to the rail)
E2	electrode 2 (remote electrode)
$u_{RE}(t)$	rail potential
$u_{1-2}(t)$	voltage between electrodes E1 and E2
a	distance between the rail R2 and electrode E1
b	distance between the rail R2 and electrode E2
s_{tg}	track gauge

Figure A.4 – Measuring arrangement for the local conductance per length

For single-track lines the local conductance per length is calculated as follows:

$$G'_{RE} = \frac{m_{Sr} \cdot \pi \cdot 2000}{\rho_E \cdot [\ln(b \times (b + s_{tg})) - \ln(a \times (a + s_{tg}))]} \quad (A.4)$$

To double-track lines the following applies:

$$G'_{RE} = \frac{m_{Sr} \cdot \pi \cdot 1000}{\rho_E \cdot [\ln((b + 0,5 \cdot s_{tg}) \times (b + 0,5 \cdot s_{tg} + s_{td})) - \ln((a + 0,5 \cdot s_{tg}) \times (a + 0,5 \cdot s_{tg} + s_{td}))]} \quad (A.5)$$

where

G'_{RE} is the local conductance per length between the running rails and earth in Siemens per kilometre (S/km);

m_{Sr} is the stray current transfer ratio;

ρ_E is the soil resistivity, in ohm-metres (Ω m);

a is the distance between the outer running rail and the electrode near the rail, in metres (m);

b is the distance between the outer running rail and the remote electrode, in metres (m);

s_{tg} is the track gauge, in metres (m);

s_{td} is the track distance between centres, in metres (m).

The components connected directly to the running rails, e.g. water drainage boxes and rail tie bars, can distort the equipotential lines directly next to the rails. Therefore, distance a should be at least 1 m. Distance b has to be so big that the electrode is outside of the voltage gradient. For this kind of measurements, usually a distance of 30 m is sufficient in urban areas. During measurement it should be checked whether distance b is sufficient or should be increased. To assess whether the insulation of the running rails is sufficient, measurements should be made at several locations, especially at crossings with other buried installations.

The stray current transfer ratio m_{Sr} is also suited for the regular assessment of the insulation of the running rails towards the earth. If the insulation of the running rails has changed, the stray current escaping into the earth changes to the same extent as the rail potential gradient.

In case that the two preconditions are fulfilled:

- the electrode close to the rail shall be placed at a distance from the running rails that corresponds to the distance of parallel or crossing metallic installations,
- the measurement period shall correspond to a multiple of the timetable cycle,

the root-mean-square value of the changes in rail potential gradient corresponds to the highest possible potential shift of the metallic installations. The root-mean-square value of the changes in rail potential gradient is proportional to the stray current activity U_{SCA} .

$$U_{SCA} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (U_{1-2,i} - \overline{U_{1-2}})^2} \quad (A.6)$$

where

U_{SCA} is the stray current activity of the potential gradient in volts (V);

n is the number of measured data;

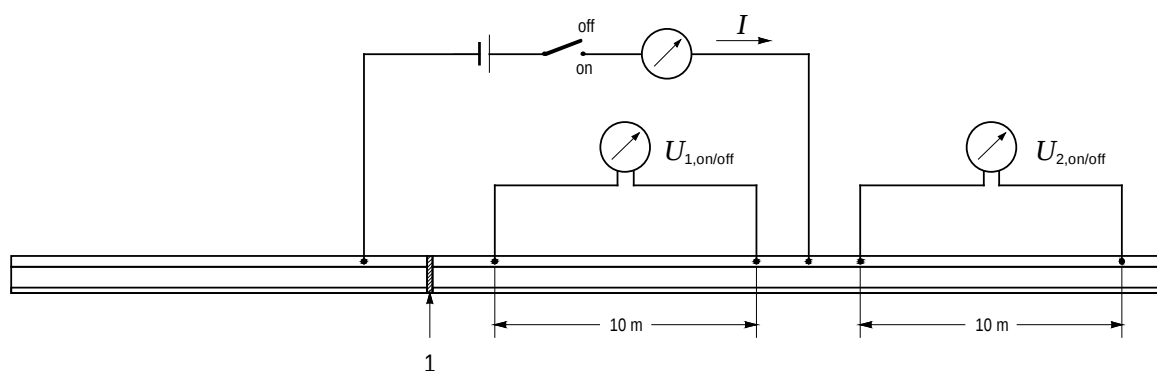
$U_{1-2,i}$ is the instantaneous value of the potential gradient in volts (V);

$\overline{U_{1-2}}$ is the average of the potential gradient in volts (V).

The assessment is made as described in EN 50162:2004, Table 1. If the stray current activity exceeds the permissible value mentioned in EN 50162, it might be necessary to perform long-time measurements over 24 h and to assess the positive potential shift of the metallic structure.

A.5 Insulating rail joints

Figure A.5 shows the measuring arrangement for the testing of an insulated rail joint of a rail. It has to be ensured that no rail-to-rail cross-bonds and track-to-track cross-bonds are within the entire measuring arrangement.



IEC 1934/13

Key

1 insulating rail joint

Figure A.5 – Test of insulating rail joints

In on-status, a constant current of a few amperes is fed into the rail across the rail joint to be tested. The functionality of the rail joint results from the current flowing towards the joint and away from the joint. For the measurements the voltage drop $U_{1,on}$ and $U_{2,on}$ along 10 m long rail sections is measured.

In off-status, directly, e.g. 0,5 s after the switching off of the current the voltages $U_{1,off}$ and $U_{2,off}$ are registered.

The functionality of the insulating rail joint F_J is stated in percent:

$$F_J = \frac{U_{2,on} - U_{2,off}}{U_{1,on} - U_{1,off} + U_{2,on} - U_{2,off}} \times 100 \% \quad (\text{A.7})$$

where

F_J is the functionality of the insulating rail joint in percent;

$U_{1,on/off}$ is the voltage drop in rail measuring section 1 in volts (V);

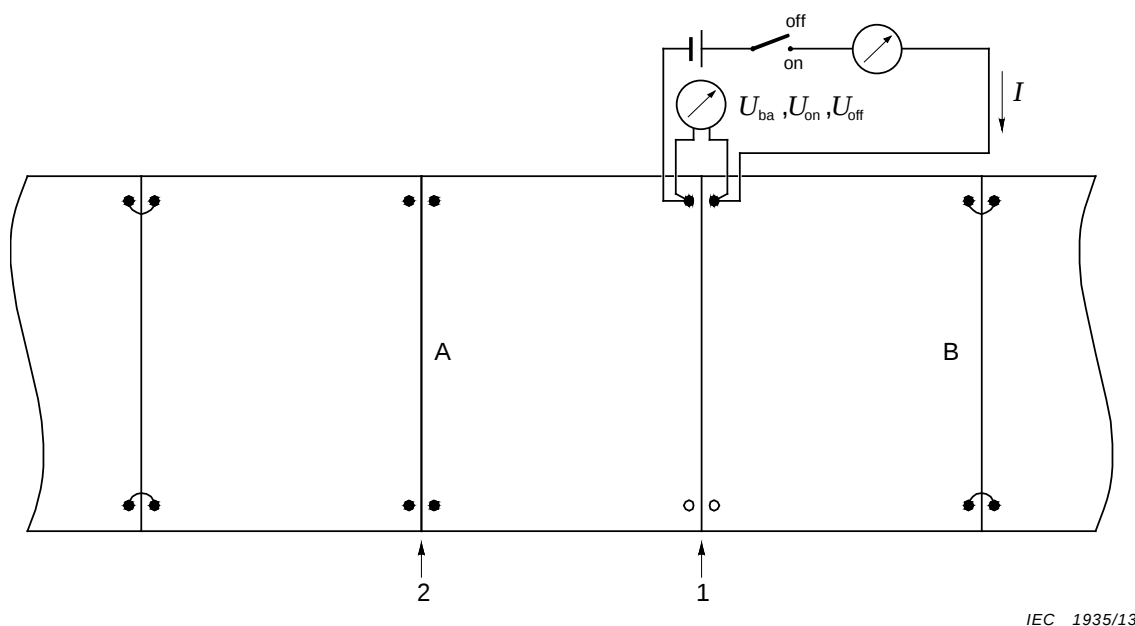
$U_{2,on/off}$ is the voltage drop in rail measuring section 2 in volts (V).

Measured values of $F_J \leq 95 \%$ indicate that a galvanic connection across the joint exists or that the insulating rail joint is faulty.

A.6 Insulating joints between metal reinforced structures

Figure A.6 shows the measuring arrangement for the testing of the insulating joint between structure A and B. A second insulating measurement joint is needed to be opened during the time of measurement, and closed during operation.

Without opening joint 2 the resistance of the insulating joint 1 corresponds to the sum of the earth resistances of the structures A and B as a first approximation taking into consideration the mutual influence. Due to the big surfaces, which are in contact with the earth, this resistance is very small, which means that it cannot be used for assessment of the effectiveness of the insulating joint 1. When the adjacent insulating joint 2 is opened, a part of structure A is switched off so that its earth resistance is decisive for the measured resistance of the insulating joint 1.



Key

- 1 insulating joint to be measured
- 2 joint to be opened to perform measurement
- A structure A
- B structure B

Figure A.6 – Test of insulating joints in metal reinforced structures

The resistance test is made with the four-pole measurement method. Before current is fed in for the first time an initial basic voltage U_{ba} is measured at the insulating joint. Thereafter, a current of approximately 10 A is fed in for a few minutes. Before the current is switched off the current I and the voltage U_{on} are measured at the insulating joint. The voltage U_{off} is measured approximately 1 s after interruption of the current.

The joint resistance R_{joint} is calculated according to Formula (A.8):

$$R_{joint} = \frac{U_{on} - U_{off}}{I} \quad (A.8)$$

where

R_{joint} is the resistance of the joint in ohms (Ω);

U_{on} is the voltage during on-status in volts (V);

U_{off} is the voltage during off-status after interruption of the current in volts (V);

I is the injected current in amperes (A).

If $R_{\text{joint}} \geq 0,5 \Omega$ and the polarisation voltage $U_{\text{off}} - U_{\text{ba}} \geq 0,1 \text{ V}$ the resistance of the joint is high enough.

Annex B
(informative)

**Stray current assessment –
Rail insulation assessment using rail potential**

B.1 Continuous monitoring of the rail potential

For continuous monitoring, the rail potential is registered at dedicated locations along the line, like in substations or passenger stations. In order to become independent from the varying traffic during the day, an averaging process is used. For the averaging time 24 h are recommended. This method works continuously and does not affect the train traffic.

If there is a change in the average rail potential, a change in the rail to earth conductance can have occurred, which gives a reason of concern for increased stray currents. Therefore the average value is compared with the value of the reference situation where the system meets the requirements according to this standard.

NOTE In existing systems with unclear stray current situation the reference situation is difficult to obtain. The distance between the measuring points depends upon the desired resolution for locating the position of such changes. The shape of the rail potential along the line is characterized by the substation locations, time table and the train characteristics in traction and braking mode. It is practical to place the registration points e.g. in substations and passenger stations in order to be able to register a typical rail potential shape along the line. By this method it is possible to find out and to indicate the position of deficiencies in the electrical separation of the return circuit from installations with contact to earth, e.g. tunnels, bridges or other civil structures beneath or beside the track bed.

Using a centralized data acquisition system, an automatic indication of the situation and location of a rail to earth connection can be provided for maintenance purposes, see Figure B.1.

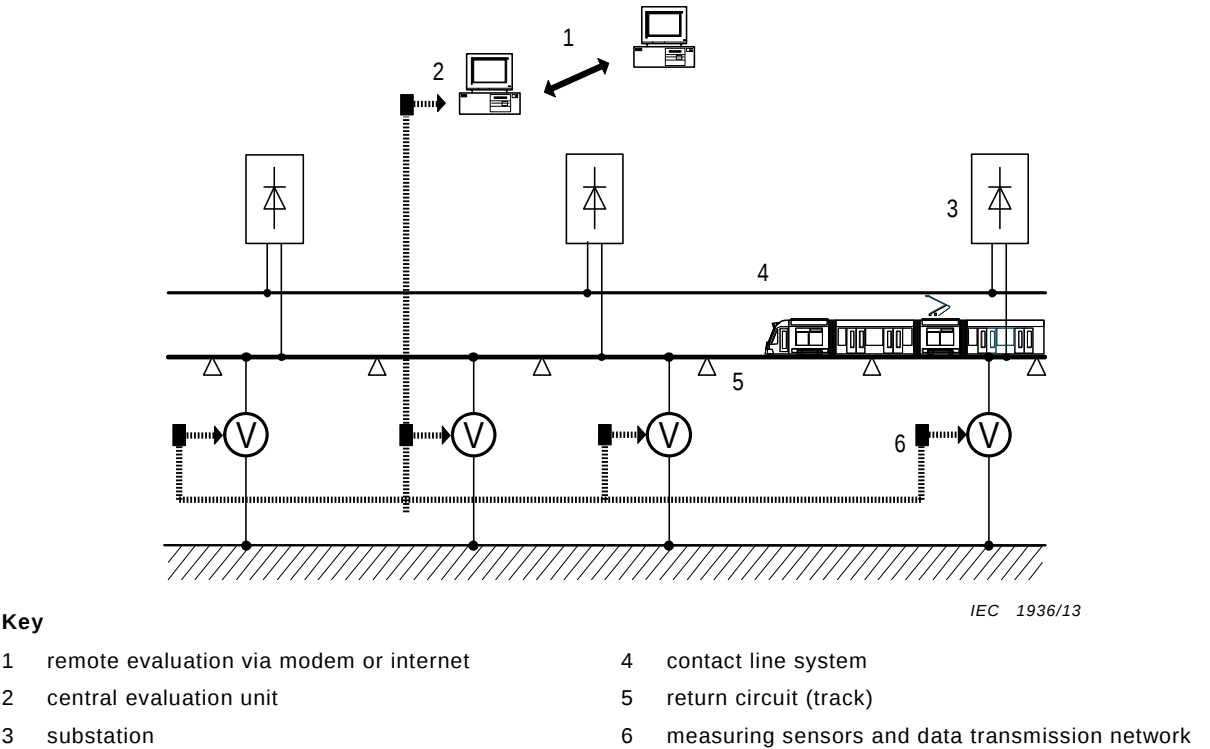


Figure B.1 – Continuous monitoring of the rail potential

B.2 Repetitive measurements of the rail potential to monitor conductance

The preconditions for the measurements should be the same as during the previous reference measurements. Along the railway line several measuring points are determined. These can be close to substations, passenger stations, technical buildings or buildings and installations where stray currents can cause specific problems.

At these points existing or additionally installed earth electrodes can be used as the earth reference points. The measuring arrangement corresponds to Figure B.1 without centralised evaluation. At the measuring points the rail potential is measured and recorded by means of a data logger or voltmeter provided with minimum, maximum and mean storage functions. It is helpful to plot the three (min., max., mean) values versus the route graphically for better assessment. The time period for the measurement should be sufficiently long to obtain a useful average value.

From each location the arithmetic mean values are determined and the maximum and minimum values are noted. These values form a voltage characteristic along the line. This characteristic depends on parameters such as conductance per unit length, rail resistance and traffic. The voltage characteristic along the line indicates changes in the rail insulation. In case of recognised changes, more comprehensive investigations using more detailed measurements are required. Countermeasures can be necessary depending on the results.

The period could be the hour of the highest traffic or alternatively approximately three times the time table cycle.

Care should be taken in interpretation of the results, when the preconditions have been changed, such as traffic or line configuration.

Annex C (informative)

Estimation of stray current and impact on metal structures

C.1 Estimation of the stray currents passing from the running rails to the earth

The traction return current flowing in the running rails causes changes in the rail potential leading to stray current flow into the earth via the track insulation.

Considering the risk of corrosion, the stray current per length is decisive for the loss of material.

The most severe case is a dead-end line or line extension, which is connected with an existing rail network.

For the calculation method the following assumptions are used:

- the existing railway is modelled as a Norton equivalent circuit. The source admittance is estimated by way of the inverse value of the characteristic resistance of the system;
- the traction current is fed in the return circuit at the end of this section.

The change in rail potential is calculated as follows:

$$U_{RE} = 0,5 \times I \times R_C \times \left(1 - e^{-\left(\frac{L}{L_C}\right)} \right) \quad (C.1)$$

$$R_C = \sqrt{\frac{R'_R}{G'_{RE}}} \quad (C.2)$$

$$L_C = \frac{1}{\sqrt{R'_R \times G'_{RE}}} \quad (C.3)$$

where

U_{RE} is the rail potential;

I is the average value of the traction return current in the considered section in the hour of highest load;

R_C is the characteristic resistance of the system running rails/structure;

L_C is the characteristic length of the system running rails/structure;

L is the length of the considered line section;

R'_R is the longitudinal resistance per length of the running rails including parallel return conductors;

G'_{RE} is the conductance per length of the running rails versus earth.

Using the rail potential and the conductance of the running rails versus earth the stray current per length is calculated according to Formula (C.4):

$$I'_S = U_{RE} \times G'_{RE} \quad (C.4)$$

where

I'_S is the stray current leaking from the rails relative to the length.

Formulas (C.1) and (C.4) result in Formula (C.5):

$$I'_S = 0,5 \times \frac{I}{L_C} \times \left(1 - e^{-\left(\frac{L}{L_C}\right)} \right) \quad (C.5)$$

If the stray current per length, divided by the number of parallel tracks is less than 2,5 mA/m, the conditions according to 5.2 are fulfilled.

The results of Formula (C.5) are conservative because a dead-end track is considered and because the train movements in the adjacent line sections are not considered. Therefore, the calculated values might be higher than in reality. If the result of the calculation exceeds 2,5 mA/m per single track, a more detailed calculation should be used.

C.2 Estimation of the longitudinal voltage in metal reinforced structures

In case of structures of reinforced concrete, e.g. tunnels, viaducts and reinforced track beds, the stray current leaks from the running rails into the reinforcement. If the reinforcement is not longitudinally interconnected, the stray currents flow into the earth via the outer reinforcement of the structure. In areas where the conductance is not homogeneous, concentrated leakage of stray current can arise and lead to corrosion on the outer reinforcement. A low-resistive interconnection of the reinforcement in the longitudinal direction reduces the longitudinal voltage drop along the reinforcement. If this voltage is less than the values given in EN 50162:2004, Table 1, there is no major concern of stray current corrosion. Therefore, the longitudinal voltage U_S is to be calculated for metal reinforced structures in addition to the stray current.

The longitudinal voltage drop in metal reinforced structures, caused by train operation, depends on the following affecting parameters:

- length of the considered line section;
- length of the adjacent line sections;
- conductance between the running rails and the structure;
- conductance between the structure and the earth;
- longitudinal resistance of the running rails;
- longitudinal resistance of the interconnected structure;
- traction return current in the considered line section;
- traction return currents of adjacent lines.

For a return circuit section in an infinitely long metal reinforced structure the longitudinal voltage is calculated as follows:

$$U_S = 0,5 \times I \times L \times \frac{R'_R \times R'_S}{R'_R + R'_S} \times \left(1 - \frac{L_C}{L} \times \left(1 - e^{-\left(\frac{L}{L_C}\right)} \right) \right) \quad (C.6)$$

$$L_C = \frac{1}{\sqrt{(R'_R + R'_S) \times G'_{RE}}} \quad (C.7)$$

where

- U_S is the longitudinal voltage in the metal reinforced structure;
- G'_{RE} is the conductance of the running rails versus earth per length;
- I is the average value of the traction return current in the considered section in the hour of highest load;
- L is the length of the considered line section;
- L_C is the characteristic length of the system running rails/structure;
- R'_R is the longitudinal resistance of the running rails including parallel return conductors per length;
- R'_S is the resistance of the structure per length.

The results of Formula (C.6) are conservative. It is assumed that the structure on each side of the considered section is infinitely long. Furthermore, it does not consider train movements in the adjacent sections and the conductance per length between structure and earth. The calculated values might be higher than in reality. If the result of the calculation exceeds the values given in EN 50162:2004, Table 1, a more detailed calculation method should be used.

Bibliography

IEC 60050-811:1991, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 811: Electric traction*

EN 12954:2001, *Cathodic protection of buried or immersed metallic structures – General principles and application for pipelines*

EN 50162:2004, *Protection against corrosion by stray current from direct current system*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	34
1 Domaine d'application	36
2 Références normatives	37
3 Termes et définitions	37
4 Identification des dangers et des risques	37
5 Critères d'évaluation et d'acceptation des courants vagabonds	38
5.1 Généralités	38
5.2 Critères pour la protection des voies	38
5.3 Critères pour les systèmes avec des structures métalliques ou en béton armé	40
5.4 Investigations spécifiques et mesures	40
6 Mesures de conception	41
6.1 Généralités	41
6.2 Circuit de retour	41
6.2.1 Généralités	41
6.2.2 Résistance des rails de roulement	41
6.2.3 Système de voie	41
6.2.4 Conducteurs de retour	42
6.2.5 Câbles de retour	42
6.2.6 Séparation électrique entre le circuit de retour et les parties du système avec un effet de prise de terre	42
6.2.7 Liaisons transversales de rail à rail et de voie à voie	42
6.3 Appareils électriques non destinés à la traction	42
6.4 Voies des autres réseaux de traction	43
6.5 Barre omnibus de retour dans la sous-station	43
6.6 Passages à niveau	43
6.7 Alimentation commune pour tramways et trolleybus	43
6.8 Passage depuis la ligne principale vers le dépôt et les ateliers	43
7 Dispositions pour structures métalliques influencées	43
7.1 Généralités	43
7.2 Tunnels, ponts, viaducs et voies en dalles de béton armé	44
7.2.1 Procédure de base	44
7.2.2 Interconnexion longitudinale	44
7.2.3 Armature sectionnée	44
7.2.4 Parties conductrices externes	45
7.2.5 Câbles, canalisation et alimentation depuis l'extérieur	45
7.3 Câbles ou canalisations adjacents	45
7.4 Limiteurs de tension	45
8 Mesures de protection appliquées aux structures métalliques	46
9 Dépôts et ateliers	46
10 Essais et mesures	46
10.1 Principes	46
10.2 Contrôle de l'isolation du rail	47
10.2.1 Surveillance continue de la tension rail/sol	47
10.2.2 Surveillance répétitive	47
Annexe A (informative) Mesure des caractéristiques de voie	48

Annexe B (informative) Evaluation des courants vagabonds – Evaluation de l'isolation des rails par mesure de la tension rail/sol	56
Annexe C (informative) Estimation des courants vagabonds et impact sur les structures métalliques	58
Bibliographie.....	61
Figure A.1 – Mesure de la résistance du rail pour un rail de 10 m de longueur.....	48
Figure A.2 – Dispositif de mesure de la conductance linéique G'_{RS} entre les rails et la structure métallique armée.....	49
Figure A.3 – Détermination de la conductance linéique G'_{RE} pour les sections de voie dépourvues de structure de génie civil	50
Figure A.4 – Montage de mesure pour la conductance linéique locale.....	52
Figure A.5 – Essai des joints isolants des rails	54
Figure A.6 – Essai des joints d'isolation dans les structures métalliques armées	55
Figure B.1 – Surveillance continue de la tension rail/sol	57

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

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 62128-2 a été établie par le comité d'études 9 de la CEI: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, parue en 2003, dont elle constitue une révision technique.

Les principales modifications techniques par rapport à l'édition précédente résultent de la révision de la norme Européenne correspondante, l'EN 50122-2. Les modifications majeures consistent en la restructuration de tous les articles.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
9/1804/FDIS	9/1833/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 2: Mesures de protection contre les effets des courants vagabonds issus de la traction électrique à courant continu

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62128 spécifie les exigences relatives aux mesures de protection contre les effets des courants vagabonds issus du fonctionnement normal des réseaux de traction à courant continu.

Plusieurs décennies d'expérience n'ayant pas démontré d'effets corrosifs évidents dus aux réseaux de traction à courant alternatif et les recherches actuelles n'étant pas achevées, la présente norme traite uniquement des courants vagabonds issus des réseaux de traction à courant continu.

La présente norme s'applique à toutes les installations fixes métalliques qui font partie du réseau de traction ainsi qu'à tout autre composant métallique se trouvant dans le sol quelle que soit sa position et qui peut transporter des courants vagabonds issus de l'exploitation du réseau ferroviaire.

Cette norme s'applique à l'ensemble des lignes nouvelles en courant continu et aux rénovations majeures apportées aux lignes existantes. Ces principes peuvent également s'appliquer aux systèmes de transport électrifiés existants lorsqu'il est nécessaire de tenir compte des effets des courants vagabonds.

Elle fournit des exigences de conception pour en permettre la maintenance.

L'éventail des applications comprend:

- a) les chemins de fer;
- b) les réseaux de transport en commun guidés tels que:
 - 1) les tramways,
 - 2) les chemins de fer aériens et souterrains,
 - 3) les chemins de fer de montagne,
 - 4) les trolleybus et
 - 5) les systèmes à sustentation magnétique, qui utilisent une ligne aérienne de contact;
- c) les systèmes de transport de matériaux.

La présente norme ne s'applique pas aux:

- d) réseaux de traction des mines souterraines;
- e) grues, plates-formes transportables et matériels de transport similaires sur rails, structures temporaires (par exemple dans les foires et expositions) dans la mesure où elles ne sont pas directement alimentées par les lignes aériennes de contact, ni affectées par le réseau d'alimentation de traction;
- f) téléphériques, télécabines;
- g) funiculaires.

La présente norme ne spécifie pas les règles de travail pour la maintenance.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

NOTE Les références normatives citées sont des normes CEI. Pour certaines références, les normes CEI n'existent pas. Dans ce cas, il est fait référence à des Normes Européennes qui sont normatives pour l'Europe. S'agissant des pays non européens, ces références figurent uniquement à titre d'information et, par conséquent, elles sont énoncées dans la bibliographie.

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

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

CEI 62128-3, *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*

3 Termes et définitions

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

4 Identification des dangers et des risques

Les réseaux de traction à courant continu peuvent générer des courants vagabonds qui pourraient nuire aux installations dans ou hors de l'emprise du réseau ferroviaire, lorsque le circuit de retour n'est pas suffisamment isolé par rapport à la terre.

Les principaux effets des courants vagabonds peuvent être la corrosion et l'endommagement subséquent des structures métalliques aux endroits où les courants vagabonds quittent les structures métalliques. Il existe également un risque de surchauffe, d'amorçage d'arc, d'incendie et les dangers qui en résultent pour les personnes et les équipements au sein et en dehors des systèmes de chemins de fer et de trolleybus.

Les systèmes suivants susceptibles de générer des courants vagabonds doivent être étudiés:

- les réseaux de traction à courant continu utilisant des rails de roulement transportant le courant de retour de traction, y compris les sections de voie d'autres réseaux de traction connectées aux voies des réseaux de traction à courant continu;
- les systèmes de trolleybus à courant continu qui partagent leur alimentation avec un système utilisant les rails de roulement transportant le courant de retour de traction;
- les réseaux de traction à courant continu n'utilisant pas les rails de roulement pour transporter le courant de retour de traction, où les courants à courant continu peuvent circuler vers la terre ou les installations de mise à la terre.

Tous les composants et tous les systèmes susceptibles d'être affectés par des courants vagabonds doivent être examinés, à savoir:

- les rails de roulement;
- les canalisations métalliques;

- les câbles à armure métallique et/ou à écran métallique;
- les réservoirs et cuves métalliques;
- les installations de mise à la terre en contact avec la terre;
- les constructions en béton armé;
- les structures métalliques enterrées;
- les systèmes de signalisation et de télécommunication;
- les systèmes d'alimentation à courant continu et à courant alternatif non destinés à la traction;
- les installations de protection cathodique.

Toute disposition adoptée pour maîtriser les effets des courants vagabonds doit être vérifiée, contrôlée et validée conformément aux dispositions de la présente norme.

La conception du système doit être achevée suffisamment tôt afin que les résultats puissent être pris en compte dans les paramètres essentiels du système qui influencent les effets des courants vagabonds, tels que l'espacement des sous-stations, et dans la conception des structures de génie civil, voir également 5.4 et l'Article 6.

L'entité chargée de la conception et de l'édification de l'infrastructure ferroviaire doit s'assurer de la conformité aux exigences électriques en matière de structures de génie civil associées aux chemins de fer.

Dans le cas de modifications majeures des lignes existantes, les effets sur l'état des courants vagabonds doivent être évalués par des calculs et/ou par des mesures.

Si les dispositions relatives aux courants vagabonds affectent la sécurité électrique, les mesures de protection contre les chocs électriques en conformité avec la CEI 62128-1 doivent prévaloir sur les dispositions contre les effets des courants vagabonds.

5 Critères d'évaluation et d'acceptation des courants vagabonds

5.1 Généralités

L'importance des courants vagabonds et leurs effets dépendent de l'ensemble de la conception du système d'alimentation de traction. Les courants vagabonds quittant le circuit de retour peuvent affecter le circuit de retour lui-même et les installations voisines, voir l'Article 4.

En plus des courants de traction, les paramètres les plus importants relatifs aux courants vagabonds sont:

- la conductance linéique des voies et des autres parties du circuit de retour;
- la distance des sous-stations;
- la résistance longitudinale des rails de roulement;
- l'espacement des liaisons transversales.

Si le système ferroviaire est conforme aux exigences et aux mesures de la présente norme, le système est supposé être acceptable du point de vue des courants vagabonds.

5.2 Critères pour la protection des voies

La grandeur d'influence la plus importante pour les courants vagabonds quittant les voies est la conductance linéique entre les rails et la terre. La vitesse de corrosion est le facteur principal de l'évaluation des risques.

Les critères de protection des voies doivent être conformes au présent paragraphe, excepté dans les cas où il existe des réglementations nationales fournissant un niveau de protection équivalent.

La tension rail/sol contient les informations principales concernant les paramètres pertinents qui représentent les courants vagabonds. Ces paramètres sont les courants de traction, la résistance longitudinale des rails de roulement, la résistance à la terre et la longueur des secteurs d'alimentation. L'hypothèse de cette approche est qu'il n'existe aucune connexion électrique directe, accidentelle ou prévue, aux installations de mise à la terre.

L'expérience montre qu'il n'y a pas d'endommagement des voies sur une période de 25 ans si la valeur linéique moyenne des courants vagabonds n'excède pas la valeur suivante:

$I'_{\max} = 2,5 \text{ mA/m}$ (valeur linéique moyenne des courants vagabonds d'une ligne à voie unique)

Il convient que, pour une ligne à voie double, la valeur moyenne maximale des courants vagabonds soit multipliée par deux. Pour les lignes à plus de deux voies, la valeur augmente en conséquence. Seules les valeurs positives entières des courants vagabonds sur une période de 24 h ou multiple de 24 h sont prises en considération pour le calcul de la moyenne.

Il n'est pas nécessaire d'effectuer d'examens approfondis conformément au 5.4, si les valeurs suivantes ne sont pas dépassées pour la conductance linéique G'_{RE} et la tension rail/sol moyenne U_{RE} :

$$- G'_{RE} \leq 0,5 \text{ S/km par voie et } U_{RE} \leq +5 \text{ V sur plate-forme ouverte} \quad (1)$$

$$- G'_{RE} \leq 2,5 \text{ S/km par voie et } U_{RE} \leq +1 \text{ V sur plate-forme fermée} \quad (2)$$

Pour la variation moyenne de la tension rail/sol U_{RE} , seules les valeurs positives de variation de la tension rail/sol sont considérées. La période de calcul de la moyenne doit être de 24 h ou multiple de 24 h.

Une valeur guide pour la fréquence d'échantillonnage est de 2 par seconde.

Si les exigences des Formules (1) et (2) ne sont pas satisfaites, une valeur alternative pour G' doit être calculée et utilisée pour la conception, en appliquant la Formule (3).

$$G'_{RE} = \frac{I'}{U_{RE}} \quad (3)$$

où

$I' = 2,5 \text{ mA/m}$ par voie ou la valeur issue de l'examen de 5.4.

Pour une ligne à voie double, il convient que la valeur de la conductance linéique maximale soit multipliée par deux. Pour les lignes à plus de deux voies, les valeurs augmentent en conséquence.

Comme il n'est pas facile de mesurer les courants vagabonds directement, la mesure de la tension rail/sol représente une méthode appropriée. Conformément à la Formule (3), la conductance linéique acceptable peut être calculée pour une ligne à voie unique.

NOTE La simulation de l'alimentation de traction pour l'exploitation planifiée des trains peut fournir des valeurs linéiques de courants vagabonds à des fins de conception. Une méthode de calcul pour les lignes d'alimentation en extrémité est fournie à l'Article C.1. Il s'agit d'une méthode prudente étant donné que les valeurs réelles sont inférieures.

Lorsque la phase de construction est terminée, il doit être démontré que la conductance linéique acceptable est conforme aux Formules (1), (2) ou (3). Des méthodes de mesure reconnues sont indiquées à l'Annexe A.

Au cours de l'exploitation, la conformité aux limites de conductance linéique conformément aux Formules (1), (2) ou (3) doit être maintenue.

5.3 Critères pour les systèmes avec des structures métalliques ou en béton armé

Dans les systèmes avec des structures métalliques ou en béton armé, telles que:

- les plates-formes de voie renforcées,
- les tunnels, ou
- les viaducs,

l'impact sur les structures doit être pris en considération.

Les variations de tension de la structure par rapport à la terre constituent un critère supplémentaire d'évaluation.

Les critères de protection des voies doivent être conformes au présent paragraphe, excepté dans les cas où il existe des réglementations nationales fournissant un niveau de protection équivalent. L'expérience a montré que, pour les structures sans protection cathodique, il n'y a aucun problème si la valeur moyenne de variation de potentiel entre la structure et la terre aux heures de plus grand trafic ne dépasse pas + 200 mV pour l'acier des structures en béton. Pour les structures métalliques enterrées, les valeurs dépendent de la résistivité du sol et du matériau.

NOTE 1 S'agissant des pays européens, l'EN 50162:2004 fournit les valeurs appropriées.

NOTE 2 L'expérience a prouvé que, dans le cas où les exigences figurant dans la présente norme sont satisfaites, les impacts sur les installations non ferroviaires causés par les courants vagabonds sont acceptables.

Afin d'éviter les effets inacceptables des courants vagabonds au niveau des ouvrages civils, il convient de calculer la tension longitudinale entre deux points quelconques de la structure métallique armée du tunnel connectée de bout en bout. La tension longitudinale maximale doit être inférieure à la variation de potentiel admissible. Pour un exemple de calcul, voir l'Article C.2. Il s'agit d'une procédure prudente qui assure que les valeurs réelles du potentiel de la structure par rapport à la terre seront plus basses.

5.4 Investigations spécifiques et mesures

Si les exigences spécifiées en 5.2 et 5.3 ne sont pas remplies, ou si d'autres méthodes de construction sont prévues, une étude doit être réalisée dès le début de la conception. L'étude est également nécessaire dans le cas de modifications essentielles des lignes existantes, lorsque la situation par rapport aux courants vagabonds est susceptible d'empirer.

L'impact possible de la corrosion due aux courants vagabonds doit être examiné, ce qui inclut les aspects suivants:

- l'isolation par rapport à la terre des rails et des structures métalliques connectées;
- l'humidité de la plate-forme;
- la résistance longitudinale des rails de roulement;
- le nombre de sous-stations et la distance entre chacune d'elles;
- les effets des inégalités entre les tensions à vide des différentes sous-stations;
- l'impédance de sortie et la tension à vide de la sous-station;
- le planning d'exploitation et le matériel roulant;

- les structures métalliques voisines.

Des mesures correctrices appropriées sont indiquées à l'Article 6 et à l'Article 7.

6 Mesures de conception

6.1 Généralités

Toute disposition adoptée pour maîtriser les effets des courants vagabonds doit être vérifiée, contrôlée et validée conformément aux dispositions de la présente norme.

6.2 Circuit de retour

6.2.1 Généralités

Afin de réduire les courants vagabonds générés par un réseau de traction à courant continu, le courant de retour de traction ne doit circuler dans la mesure du possible que par l'intermédiaire du circuit de retour prévu.

Dans la mesure où le circuit de retour, dans le cas des réseaux de traction à courant continu, n'est généralement pas relié à la terre, les exigences de sécurité relatives à la tension rail/sol conformément à la CEI 62128-1, 6.2.2 et Article 9, doivent être satisfaites.

6.2.2 Résistance des rails de roulement

La résistance longitudinale des rails de roulement doit être faible. Les joints doivent donc être soudés ou raccordés par des connexions électriques de rails de faible résistance de sorte que la résistance longitudinale des rails n'augmente pas de plus de 5 %. Ceci n'inclut pas les joints isolants du système de signalisation.

Dans le cas de connexions inductives au niveau des joints isolants, la résistance totale peut être augmentée de plus de 5 %.

La résistance longitudinale peut être réduite en utilisant des rails de plus grosse section et/ou des liaisons transversales entre les rails de roulement et/ou les voies lorsque les considérations de signalisation le permettent.

6.2.3 Système de voie

Un haut niveau d'isolation des rails de roulement et de l'ensemble du circuit de retour par rapport à la terre est exigé lorsque les rails de roulement sont utilisés comme partie du circuit de retour.

La voie doit être conçue de manière à ce que la qualité d'isolation des rails par rapport à la terre ne soit pas diminuée par la présence d'eau. Afin de satisfaire aux valeurs données dans les Formules (1), (2) et (3) de 5.2, l'évacuation des eaux de la sous-structure des rails de roulement est essentielle.

Les valeurs mentionnées pour la conductance linéique s'appliquent à une voie comprenant deux rails de roulement avec des entretoises ainsi qu'aux parties du système qui y sont rattachées.

EXEMPLE 1 Les dispositions suivantes peuvent être prises afin de conserver les valeurs requises de la conductance G'_{RE} pour des rails posés en plate-forme ouverte:

- ballast propre;
- traverses en bois ou en béton armé avec des systèmes de fixation isolés;
- distance entre les rails de roulement et le ballast.

EXEMPLE 2 Les dispositions suivantes peuvent être prises afin de conserver les valeurs requises de la conductance G'_{RE} pour des rails posés en plate-forme fermée:

- pose des rails de roulement sur un lit de résine isolante;
- disposition de couches isolantes intermédiaires entre les voies et les systèmes de support;
- drainage efficace.

6.2.4 Conducteurs de retour

Les conducteurs de retour, si nécessaire, sont disposés en parallèle avec les rails de roulement et doivent leur être raccordés à des intervalles réguliers. Ils doivent être isolés par rapport à la terre.

6.2.5 Câbles de retour

Les câbles de retour raccordent les rails de roulement à la sous-station. Ils doivent avoir une gaine extérieure isolante afin d'empêcher l'entrée ou la sortie de courants vagabonds.

Lorsqu'il y a risque de dommage mécanique, il convient de prévoir une protection supplémentaire pour les câbles de retour.

6.2.6 Séparation électrique entre le circuit de retour et les parties du système avec un effet de prise de terre

Pour réduire les courants vagabonds, aucune partie du circuit de retour ne doit avoir de connexions conductrices directes avec des installations, des composants ou des structures métalliques qui ne sont pas isolés de la terre.

Dans le cas de connexion conductrice directe avec des installations, des composants ou des structures métalliques qui ne sont pas isolés de la terre, il convient que les valeurs données dans les Formules (1), (2) et (3) de 5.2 soient satisfaites pour le circuit de retour et les parties qui lui sont raccordées.

Si une liaison avec un circuit de retour est inévitable pour des raisons de protection contre les chocs électriques, des dispositions doivent être prises pour réduire les effets des courants vagabonds. Celles-ci peuvent être par exemple:

- la liaison ouverte avec le circuit de retour, dans ce cas, le limiteur de tension doit satisfaire aux exigences indiquées dans la CEI 62128-1, Annexe F;
- l'isolation des équipements ou des composants connectés aux rails de roulement par rapport aux fondations ou composants qui sont mis à la terre;
- l'isolation des armatures d'ouvrages par rapport à la terre.

Pour les exceptions concernant les ateliers et emplacements similaires, voir l'Article 9.

Un rail de contact isolé de la terre, dit "quatrième rail", peut être utilisé pour le courant de retour de traction. S'il s'agit d'une partie active qui n'est pas raccordée aux rails de roulement, aucun courant vagabond n'apparaît dans des conditions de fonctionnement normal. Dans le cas de systèmes de rail de contact avec des troisième et quatrième rails, chaque rail de contact doit être isolé de la terre en fonction de la tension nominale du système conformément à la CEI 60850.

6.2.7 Liaisons transversales de rail à rail et de voie à voie

Les liaisons transversales de rail à rail, les barres, les liaisons transversales de voie à voie et les autres connexions susceptibles d'entrer en contact avec la terre doivent être isolées.

6.3 Appareils électriques non destinés à la traction

Les appareils électriques non destinés à la traction doivent être installés conformément à la CEI 62128-1, Article 7.

6.4 Voies des autres réseaux de traction

Les voies des autres réseaux de traction ne doivent généralement pas avoir de liaisons conductrices directes avec les voies des réseaux de traction à courant continu.

Les voies sans ligne de contact peuvent être connectées dans des cas exceptionnels au circuit de retour si elles satisfont aux exigences données au 6.2.3.

Si les rails de roulement sont utilisés à la fois par des réseaux de traction à courant continu et à courant alternatif, des mesures supplémentaires doivent être prises contre le danger lié aux courants vagabonds et contre les tensions de contact inacceptables, voir la CEI 62128-3.

Toute disposition supplémentaire ne doit pas affecter les autres critères de sécurité, en particulier ceux qui sont définis pour minimiser la tension de contact et pour faire fonctionner l'alimentation, les circuits de voie et les systèmes de communication.

6.5 Barre omnibus de retour dans la sous-station

La sous-station doit être disposée de manière à empêcher la circulation du courant continu dans la terre de structure de la sous-station. Les risques de courants vagabonds concernant la mise à la terre des équipements due aux opérations de maintenance doivent être pris en considération. Les barres omnibus de retour dans les sous-stations et dans des installations identiques doivent être mises en place de manière à être isolées de la terre. Lorsque cela est nécessaire pour des raisons de sécurité, un limiteur de tension (type O minimum) reliant la barre omnibus de retour et la terre doit être mis en œuvre conformément à la CEI 62128-1, Annexe F. Pour les sous-stations dans les dépôts et les ateliers, voir l'Article 9.

6.6 Passages à niveau

Aux passages à niveau où les rails de roulement sont disposés en plate-forme fermée, on doit veiller à ce que la valeur de la conductance linéique n'excède pas la valeur de celle des voies adjacentes.

6.7 Alimentation commune pour tramways et trolleybus

Si les trolleybus et les tramways reçoivent leur énergie de traction de la même sous-station, l'un des fils de contact du trolley peut être relié au système à retour par la voie conformément à la CEI 62128-1. Dans ce cas, on doit s'assurer que les mesures de protection de ces deux systèmes prises pour réduire les effets des courants vagabonds, sont toujours suffisantes.

L'isolation des rails de roulement doit être coordonnée à d'autres mesures assurant que les tensions de contact inacceptables conformément à la CEI 62128-1 ne sont pas atteintes pendant le fonctionnement, dans le cas d'un court-circuit ou d'un défaut à la terre.

6.8 Passage depuis la ligne principale vers le dépôt et les ateliers

Voir l'Article 9.

7 Dispositions pour structures métalliques influencées

7.1 Généralités

La résistance entre les structures conductrices qui ne sont pas isolées de la terre et le système de retour par la voie doit être élevée. Les systèmes de retour par la voie et la terre ne doivent pas être directement reliés à la terre sauf dans le cas de dépôts ou d'ateliers (voir l'Article 9). Une liaison directe à la terre peut être également autorisée dans certains systèmes industriels avec une traction à courant continu, en tenant compte des conditions environnantes particulières, par exemple les mines de charbon à ciel ouvert.

7.2 Tunnels, ponts, viaducs et voies en dalles de béton armé

7.2.1 Procédure de base

Dans une structure comprenant des composants conducteurs, il peut être nécessaire de prendre des dispositions pour limiter les effets possibles des courants vagabonds. Les exigences pour la protection contre les chocs électriques doivent être prises en compte. Ceci s'applique aux tunnels, viaducs, ponts et voies sur dalles de béton armé.

EXEMPLE Les dispositions pour réduire les effets des courants vagabonds dans les structures de tunnel avec des composants conducteurs peuvent dépendre des conditions suivantes:

- selon que la source prédominante de courants vagabonds se situe à l'intérieur ou à l'extérieur du tunnel;
- selon que la priorité est de protéger les structures métalliques du tunnel ou de protéger d'autres structures métalliques extérieures au tunnel et au chemin de fer.

7.2.2 Interconnexion longitudinale

Dans le cas de tunnels, viaducs, ponts ou voies sur dalles à structures en béton armé, il est possible que des courants vagabonds circulent dans de telles structures et par voie de conséquence influencent d'autres structures conductrices non-ferroviaires extérieures. Dans ce cas, les effets d'une telle influence doivent être réduits au moyen de liaisons équipotentielle dans la partie basse de chaque section du tunnel ou d'autres structures conductrices afin de satisfaire aux exigences relatives à la tension selon 5.3. Cette liaison équipotentielle doit être réalisée avec:

- un nombre suffisant de barres de renfort;
- des radiers raccordés;
- d'autres parties de structures conductrices;
- si nécessaire, des conducteurs supplémentaires de section appropriée posés dans le tunnel.

Dans des cas particuliers, certaines sections de la structure peuvent ne pas avoir de liaison équipotentielle avec le reste de la structure. La liaison équipotentielle des autres sections de la structure peut être réalisée au moyen d'un câble isolé s'étendant sur la section séparée de la structure.

Il est possible, uniquement pour la protection contre les courants vagabonds, d'obtenir une conductivité électrique adéquate des barres de renfort dans une section de structure au moyen d'une connexion conventionnelle par enroulement de câble en acier.

7.2.3 Armature sectionnée

Dans des zones où l'influence des courants vagabonds sur des structures à l'extérieur du tunnel n'est pas significative et lorsqu'une valeur suffisamment élevée de la résistance rail – terre ne peut être obtenue, du fait par exemple de l'humidité ou du ballast insuffisamment épuré, on doit se préoccuper principalement de la corrosion des structures métalliques du tunnel.

Les structures en béton armé du tunnel doivent être divisées en sections longitudinales par des joints d'isolation lorsque des courants vagabonds d'autres systèmes mitoyens peuvent circuler le long de la structure du tunnel, provoquant ainsi une liaison électrique indésirable entre différentes zones.

Si la résistance entre ces structures et la terre est relativement élevée, comme par exemple dans des tunnels en pierre, les structures en béton armé du tunnel peuvent également être divisées en sections longitudinales par des joints d'isolation.

S'il existe un risque de tension inacceptable entre des parties accessibles simultanément, se reporter à la CEI 62128-1.

Pour les essais, des bornes doivent être prévues entre chaque section au niveau des joints annulaires. Une liaison électrique fiable doit être réalisée entre ces bornes et les barres de renfort longitudinales. Une méthode de mesure recommandée figure dans l'Article A.6.

Normalement, aucune connexion ne sera réalisée entre les bornes des sections adjacentes.

7.2.4 Parties conductrices externes

Les armatures des tunnels en béton armé d'acier et les éléments des tunnels constitués de matériaux conducteurs ne doivent pas avoir de connexion électrique avec les canalisations et les câbles situés à l'extérieur du tunnel ou avec le circuit de retour ou tout autre système mitoyen non isolé de la terre. Il existe un risque d'échange de courants vagabonds s'il n'est pas possible d'effectuer de séparation électrique, dû par exemple aux différents systèmes de mise à la terre présents dans un bâtiment, et par conséquent un danger de corrosion due aux courants vagabonds. Si le risque d'échange de courant vagabond est présent, il doit être surveillé de façon continue, voir 10.2.1, et les liaisons rail-terre de structure doivent être supprimées rapidement.

Des connexions des armatures du tunnel avec des systèmes de mise à la terre supplémentaires sont admises afin de satisfaire aux exigences de mise à la terre pour des mesures de protection.

7.2.5 Câbles, canalisation et alimentation depuis l'extérieur

Des précautions sont nécessaires afin d'éviter un échange éventuel de courants vagabonds entre la terre de structure et des installations non-ferroviaires éloignées. A l'entrée des structures ferroviaires en béton armé ou métalliques, telles que les tunnels, les viaducs, les dépôts et les ateliers, toutes les canalisations métalliques, conduites hydrauliques, gaines de câbles ainsi que les liaisons à la terre venant de l'extérieur doivent être séparées électriquement de la terre de structure afin d'éviter toute liaison conductrice avec les prises de terre extérieures.

EXEMPLE Ceci peut être obtenu:

- en isolant les éléments dans les canalisations ou en réalisant une isolation complète de la terre de structure;
- en installant des transformateurs à enroulements séparés ou en utilisant un schéma TT conformément à la CEI 62128-1.

Lorsque cela est nécessaire pour des raisons de sécurité, il est admis de connecter chaque section de canalisation métallique à la terre de structure.

7.3 Câbles ou canalisations adjacents

Lorsque des réseaux de traction à courant continu sont situés à proximité de canalisations ou de câbles enterrés, on doit s'efforcer de maintenir les parties conductrices les plus éloignées possibles pour minimiser l'interférence des courants vagabonds.

Pour l'évaluation de l'impact éventuel des courants vagabonds, la méthode de mesure donnée à l'Article A.4 peut être utilisée.

Concernant les croisements de voies avec canalisations ou câbles, il a été démontré par l'expérience qu'une distance minimale de 1 m est suffisante pour la protection contre les courants vagabonds.

7.4 Limiteurs de tension

Si des limiteurs de tension (VLD) entre le circuit de retour et les composants métalliques de la structure sont fournis comme mesure de protection pour prévenir des tensions inadmissibles, les mesures de protection contre les effets des courants vagabonds doivent être satisfaites, voir la CEI 62128-1, Annexe F.

8 Mesures de protection appliquées aux structures métalliques

Les dispositions de la présente norme ont pour but de réduire les courants vagabonds afin de réduire la corrosion qu'ils entraînent. Des mesures de protection classiques contre la corrosion naturelle des installations non-ferroviaires peuvent être utilisées si elles sont considérées comme nécessaires. Si des méthodes de protection supplémentaires sont prises en compte, le concept global de protection doit faire l'objet d'un accord entre les parties concernées et doit être conforme aux normes appropriées relatives à la corrosion due aux courants vagabonds.

La liaison entre une structure métallique et la barre omnibus de retour dans une sous-station, même sous la forme de drainage électrique polarisé, augmente le courant vagabond total. Par conséquent, il convient de ne réaliser la liaison entre une structure métallique et la barre omnibus de retour qu'en tenant dûment compte de l'effet total sur les rails de roulement et autres structures pouvant être influencées. Le drainage électrique polarisé n'est généralement applicable que lorsque la structure à protéger est éloignée des autres structures.

NOTE Exemples, voir l'EN 50162: 2004.

9 Dépôts et ateliers

Comme les voies dans les dépôts et les ateliers sont concentrées sur une petite surface, aucune chute de tension significative ne survient dans cette zone. En conséquence, contrairement aux exigences génériques décrites au 7.1, une liaison directe entre la terre de structure et le circuit de retour est ainsi admise pour la liaison équipotentielle pour des raisons de sécurité. Par conséquent, les rails de roulement dans les dépôts ou ateliers et autres emplacements identiques doivent être séparés de la voie principale par des joints isolants et l'alimentation de traction doit être fournie par des transformateurs-redresseurs indépendants. Les exceptions sont permises, sous réserve qu'une étude sur les courants vagabonds démontre qu'ils n'ont pas d'effets négatifs. Concernant la tension de contact à travers les joints de rail, voir la CEI 62128-1, Tableau 6.

Dans le cas d'un réseau d'alimentation de traction commun du dépôt et de la voie principale, des dispositions appropriées doivent être prises en vue de prévenir les dommages provoqués par les courants vagabonds, et pour la continuité du circuit de retour pour la voie principale et pour le dépôt.

Si les rails de roulement du dépôt et de l'atelier sont connectés à la voie principale, l'isolation du circuit de retour par rapport à la terre doit être identique à celui de la voie principale.

Afin de satisfaire aux exigences de sécurité, il convient que des limiteurs de tension (type VLD-O) soient installés si nécessaire. Leur configuration doit satisfaire aux valeurs pour les dépôts et ateliers conformément à la CEI 62128-1, 9.3.2.3.

10 Essais et mesures

10.1 Principes

Afin d'éviter des dommages dus à la corrosion dans le circuit de retour selon 5.2 et un dommage des structures métalliques voisines selon 5.3, la situation des courants vagabonds doit être évaluée lors de la mise en service et vérifiée lors de l'exploitation. Des mesures correctives peuvent être prises lorsque cela est nécessaire.

Une mesure directe des courants vagabonds est difficile; des méthodes alternatives se sont révélées être praticables. Elles sont basées sur la mesure de la résistance du circuit de retour ou de la tension par rapport à la terre résultant de l'exploitation des trains. Les modifications de la conductance linéique doivent être examinées de préférence et des contre-mesures doivent être effectuées, si la situation des courants vagabonds l'exige.

Les liaisons circuit de retour-rail intempestives doivent être supprimées suffisamment rapidement afin d'éviter tout dommage significatif provoqué par la corrosion due aux courants vagabonds.

Lorsque les courants vagabonds doivent être évalués à des intervalles déterminés, une méthode reconnue doit être utilisée. Des procédures appropriées sont énumérées à l'Annexe A.

10.2 Contrôle de l'isolation du rail

10.2.1 Surveillance continue de la tension rail/sol

La tension rail/sol le long de la voie change lorsque la conductance linéique change de manière significative, par exemple dans le cas de liaisons électriques à faible résistance entre le circuit de retour et la terre.

En exploitation, la tension rail/sol est comparée à une situation de référence. La situation de référence est la situation dans laquelle le système satisfait aux exigences conformément à la présente norme.

Des modifications de la tension rail/sol le long de la voie indiquent des déficiences de la conductance linéique incluant les connexions rail-terre individuelles du circuit de retour, pouvant affecter la situation des courants vagabonds.

Une surveillance continue de la tension rail/sol permet le contrôle de la continuité du circuit de retour, de détecter les liaisons entre le circuit de retour et la terre et la pollution des fixations des rails. La méthode de mesure recommandée est indiquée à l'Article B.1.

10.2.2 Surveillance répétitive

10.2.2.1 Généralités

Si une surveillance continue n'est pas appliquée, une surveillance répétitive doit être réalisée.

L'intervalle entre deux inspections répétitives doit être fixé en fonction de la spécificité du risque de la situation.

Pour la surveillance répétitive, un intervalle de 5 ans est recommandé.

10.2.2.2 Mesure répétitive de la conductance linéique des rails de roulement

Les exigences de conductance linéique selon 5.2 doivent être satisfaites. Des méthodes de mesure éprouvées sont indiquées dans les Articles A.1 à A.5.

10.2.2.3 Mesure répétitive de la tension rail/sol

La tension rail/sol le long de la voie varie avec la présence de liaisons électriques entre le circuit de retour et la terre ou lorsque la conductance linéique des rails de roulement varie. Des mesures permettent de détecter de telles situations si d'autres paramètres d'influence comme les courants de traction et les intervalles des trains ne varient pas de manière significative.

Il convient que les mesures successives soient effectuées de préférence aux mêmes points et selon les mêmes méthodes.

Si la mesure répétitive à intervalles réguliers de la tension rail/sol le long de la voie détecte des insuffisances d'isolation du rail, des contre-mesures doivent être effectuées pour améliorer la situation. Une méthode de mesure recommandée est indiquée à l'Article B.2.

Annexe A (informative)

Mesure des caractéristiques de voie

A.1 Résistance des rails

La mesure de la résistance des rails est nécessaire pour obtenir la relation entre le courant dans le rail et la tension résultante pour la détermination ultérieure de la conductance linéique, par exemple dans un tunnel. La Figure A.1 représente le montage de mesure recommandé.

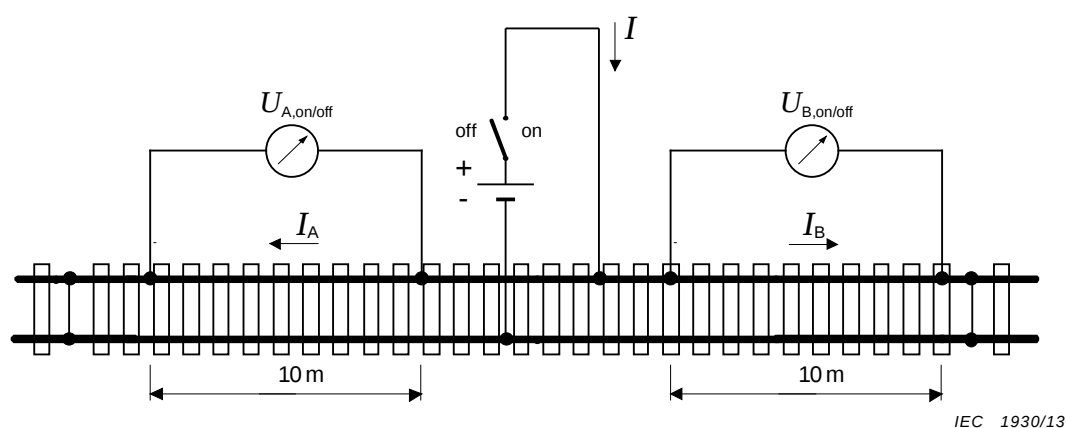


Figure A.1 – Mesure de la résistance du rail pour un rail de 10 m de longueur

Le courant continu mesuré I est régulièrement appliqué et coupé afin de vérifier d'autres effets pendant la période de coupure.

Il convient de prendre en compte la variation des valeurs de lecture par plusieurs mesures. Il convient d'analyser les différences significatives résultant du changement de polarité du circuit mesuré.

La méthode est valable uniquement si les mesures sont réalisées sans aucun courant de traction. Lorsque cela n'est pas réalisable, il convient d'effectuer les mesures simultanément afin d'éliminer les effets des courants autres que celui mesuré.

Il convient que les points de mesure au niveau des rails de roulement soient éloignés d'au moins 1 m des points d'injection.

La chute de tension longitudinale U_A et U_B est mesurée pour chacune des deux sections de rail adjacentes. La résistance du rail est calculée conformément à la Formule (A.1).

$$R_{R10m} = \frac{(U_{A,on} - U_{A,off}) + (U_{B,on} - U_{B,off})}{I} \quad (A.1)$$

où

I est le courant injecté, exprimé en ampères (A);

R_{R10m} est la résistance longitudinale en ohms (Ω) d'une section de 10 m du rail;

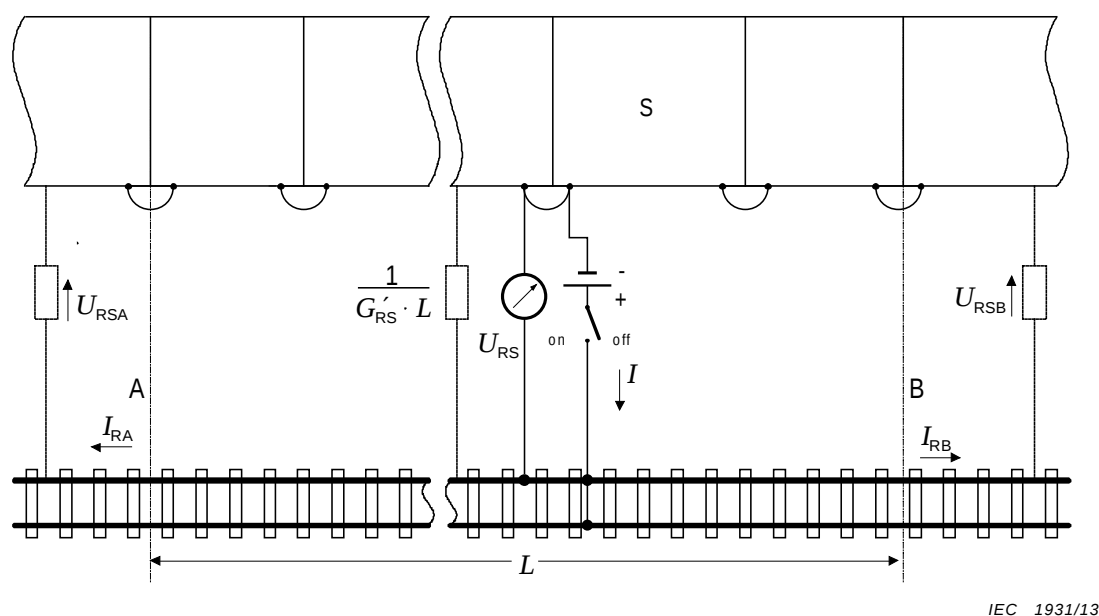
$U_{on, off}$ est la chute de tension dans le rail, avec ou sans courant injecté, exprimée en volts (V).

Les mesures supposent qu'aucune liaison transversale de rail à rail et de voie à voie, par exemple liaison inductive, n'est établie à l'intérieur de la zone de mesure.

A.2 Conductance linéique entre les rails de roulement et les structures métalliques armées

Pendant les mesures, les rails de roulement doivent être séparés électriquement des rails de roulement qui se trouvent hors de la zone des structures métalliques armées par l'intermédiaire de joints isolants ou de coupures de rail. En cas de tunnel, il est d'usage de situer la séparation aux rampes de raccordement vers les voies à niveau.

Un dispositif de mesure et une séquence de mesure particuliers permettent de mesurer la conductance linéique des rails de roulement par rapport aux structures métalliques armées sans nécessiter de joints isolants supplémentaires dans la zone de voies de la structure. La conductance linéique G'_{RS} doit être mesurée conformément à la Figure A.2. et elle doit être calculée conformément à la Formule (A.2), en faisant la moyenne des trois valeurs de tensions mesurées.



Légende

S Structure métallique armée

Figure A.2 – Dispositif de mesure de la conductance linéique G'_{RS} entre les rails et la structure métallique armée

Le courant continu mesuré I , injecté entre les rails et la structure est alternativement mis en et hors service.

$$G'_{RS} = \frac{1}{L} \times \frac{I - I_{RA} - I_{RB}}{(\Delta U_{RS} + \Delta U_{RSA} + \Delta U_{RSB})/3} \quad \Delta U = U_{on} - U_{off} \quad (A.2)$$

où

G'_{RS} est la conductance linéique entre les rails et la structure, exprimée en Siemens par kilomètre (S/km, avec $1 \text{ S/km} = 1/\Omega\text{km}$);

I est le courant injecté, en ampères (A);

I_{RA}, I_{RB} est le courant circulant au-delà des extrémités A et B de la section mesurée, en ampères (A);

- U_{RS} est la tension entre le rail et la structure au point d'injection, en volts (V);
 U_{RSA}, U_{RSB} est la tension entre le rail et la structure aux extrémités A et B de la structure, en volts (V);
 L est la longueur de la section à mesurer, en kilomètres (km).

Les courants I_{RA} et I_{RB} peuvent être obtenus à l'aide de la mesure de la chute de tension des rails comme décrit à l'Article A.1.

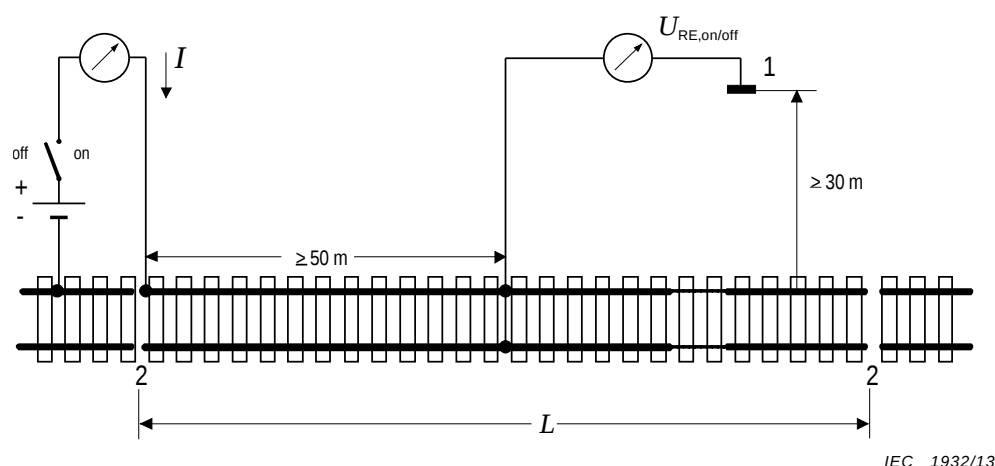
Il convient de s'assurer que les mesures ne sont pas influencées par les liaisons rail-terre ou les limiteurs de tension (VLD).

A.3 Conductance linéique des sections de voie sans structure de génie civil

La section de voie à examiner est séparée du reste de la ligne par des joints isolants ou des coupures de rail. Il convient que la longueur de la section de voie ne soit pas supérieure à 2 km.

Si la longueur de la section de voie dépasse 2 km, la méthode de l'Article A.4 peut être utilisée aux emplacements concernés ou des joints isolants doivent être fournis à l'avance.

La conductance linéique de la section de voie séparée est déterminée conformément à la méthode illustrée à la Figure A.3. et dans la Formule (A.3).



Légende

- 1 Electrode de référence
 2 Eclisse isolante

NOTE Il convient d'utiliser de préférence des électrodes en cuivre/sulfate de cuivre.

Figure A.3 – Détermination de la conductance linéique G'_{RE} pour les sections de voie dépourvues de structure de génie civil

$$G'_{RE} = \frac{1}{L} \times \frac{I}{U_{RE,on} - U_{RE,off}} \quad (A.3)$$

où

- G'_{RE} est la conductance linéique exprimée en Siemens par kilomètre entre la voie et la terre, avec $1 \text{ S} = 1/\Omega$;
 I est le courant d'injection, en ampères (A);
 U_{RE} est la tension entre le rail et la terre;

L est la longueur de la section à mesurer, en kilomètres (km).

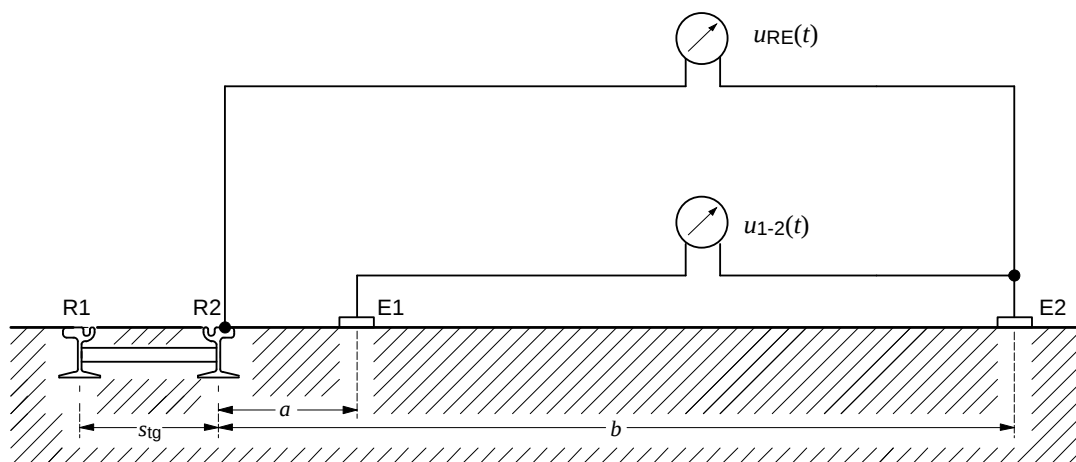
Un courant continu de valeur I est injecté dans les rails de chaque coté des joints isolants. Il convient que le courant soit appliqué et coupé régulièrement. Le courant de mesure I passe des rails de la section de voie à examiner à la terre et de là dans les rails de la section de voie connectée. La tension U_{RE} entre le rail et la terre et le courant de mesure est primordiale pour déterminer la conductance linéique. Il convient de mesurer la tension en utilisant une électrode de référence. Cette électrode doit être placée à au moins 50 m du point d'injection et à au moins 30 m de la voie. De plus, le bon état de service des liaisons rail-terre, par exemple les limiteurs de tension, doit être vérifié afin de ne pas affecter les résultats des mesures.

A.4 Conductance linéique locale des sections de voie sans structure de génie civil

La conductance linéique moyenne d'une ligne en surface d'une longueur maximale de 2 km est calculée conformément à la procédure indiquée à l'Article A.3. À l'inverse, la conductance linéique locale et l'influence des courants vagabonds au point de mesure peuvent être évaluées conformément à la méthode indiquée à la Figure A.4. et aux Formules (A.4) à (A.6). Il n'est pas nécessaire de couper les rails pour les mesures. Les mesures sont effectuées pendant l'exploitation. La tension rail/sol u_{RE} est enregistrée entre les rails de roulement et une électrode de référence E2 plantée dans la terre à une distance b du rail de roulement R2. Le gradient de la tension rail/sol u_{1-2} est enregistré à l'aide d'une deuxième électrode E1 placée à une distance a du rail de roulement R2 et d'une électrode à distance E2. Il convient d'utiliser de préférence des électrodes en cuivre/sulfate de cuivre.

Les deux tensions sont enregistrées par un enregistreur de données. Le gradient de la tension rail/sol ΔU_{1-2} doit être déterminé en fonction de la tension rail/sol ΔU_{RE} . La pente de la droite de régression linéaire de cette fonction est le rapport de transfert des courants vagabonds m_{sr} .

De plus, la résistivité du sol ρ_E à proximité de l'électrode E1 doit être déterminée.



IEC 1933/13

Légende

R1	rail de roulement 1
R2	rail de roulement 2
E1	électrode 1 (près du rail)
E2	électrode 2 (électrode distante)
$u_{RE}(t)$	tension rail/sol
$u_{1-2}(t)$	tension entre électrodes E1 et E2
a	distance entre le rail R2 et l'électrode E1
b	distance entre le rail R2 et l'électrode E2
s_{tg}	écartement des rails

Figure A.4 – Montage de mesure pour la conductance linéique locale

Pour les lignes à voie unique, la conductance linéique locale est calculée de la manière suivante:

$$G'_{RE} = \frac{m_{Sr} \cdot \pi \cdot 2000}{\rho_E \cdot [\ln(b \times (b + s_{tg})) - \ln(a \times (a + s_{tg}))]} \quad (A.4)$$

Pour les lignes à double voie, ce qui suit s'applique:

$$G'_{RE} = \frac{m_{Sr} \cdot \pi \cdot 1000}{\rho_E \cdot [\ln((b + 0,5 \cdot s_{tg}) \times (b + 0,5 \cdot s_{tg} + s_{td})) - \ln((a + 0,5 \cdot s_{tg}) \times (a + 0,5 \cdot s_{tg} + s_{td}))]} \quad (A.5)$$

où

- G'_{RE} est la conductance linéique locale entre les rails de roulement et la terre, exprimée en Siemens par kilomètre (S/km);
- m_{Sr} est le rapport de transfert des courants vagabonds;
- ρ_E est la résistivité du sol, exprimée en ohm-mètres (Ωm);
- a est la distance entre le rail de roulement extérieur et l'électrode proche du rail, exprimée en mètres (m);
- b est la distance entre le rail de roulement extérieur et l'électrode distante, exprimée en mètres (m);

s_{tg} est l'écartement des rails, exprimé en mètres (m);

s_{td} est la distance entre les axes des voies, exprimée en mètres (m).

Les composants reliés directement aux rails de roulement, par exemple les boîtiers d'évacuation des eaux et les traverses, peuvent déformer les lignes équipotentielles à proximité directe des rails. Par conséquent, il convient que la distance a soit d'au moins 1 m. La distance b doit être suffisamment importante pour que l'électrode soit hors du gradient de tension. Une distance de 30 m est habituellement suffisante en zone urbaine pour ce type de mesure. Il convient de déterminer pendant la mesure si la distance b est suffisante ou s'il convient de l'augmenter. Pour évaluer si l'isolation des rails de roulement est suffisante, il convient d'effectuer les mesures à différents endroits, particulièrement aux croisements avec d'autres installations enterrées.

Le rapport de transfert de courants vagabonds m_{sr} convient également à l'évaluation régulière de l'isolation des rails de roulement par la terre. Si l'isolation des rails de roulement a changé, le courant vagabond fuyant vers la terre se modifie de la même manière que le gradient de la tension rail/sol.

Dans le cas où ces deux conditions préalables sont remplies:

- l'électrode proche du rail doit être placée à une distance des rails de roulement correspondant à la distance des installations métalliques parallèles ou coupant les rails,
- la période de mesure doit correspondre à un multiple du cycle horaire,

la valeur efficace des variations du gradient de la tension rail/sol correspond à la plus forte variation de potentiel possible des installations métalliques. La valeur efficace des variations du gradient de la tension rail/sol est proportionnelle à l'activité des courants vagabonds U_{SCA} .

$$U_{SCA} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (U_{1-2,i} - \overline{U_{1-2}})^2} \quad (\text{A.6})$$

où

U_{SCA} est l'activité des courants vagabonds du gradient de la tension, en volts (V);

n est le nombre de données mesurées;

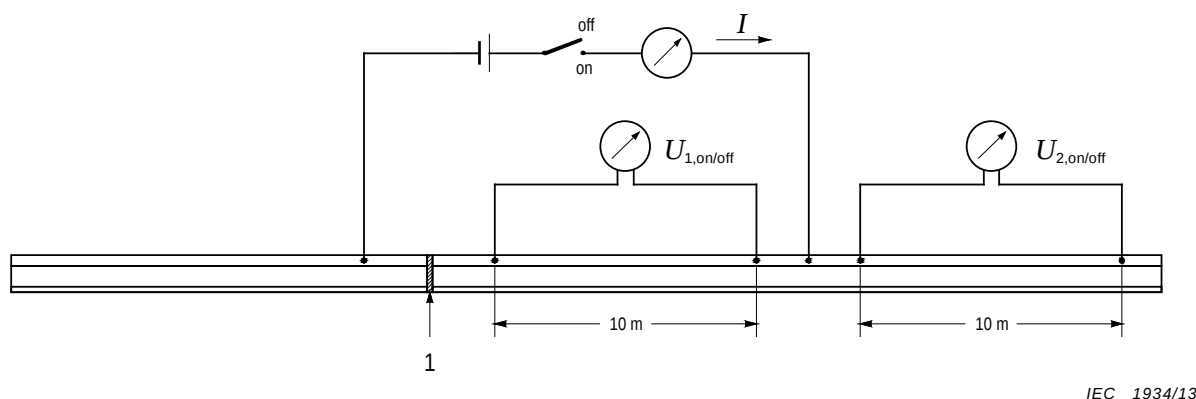
$U_{1-2,i}$ est la valeur instantanée du gradient de tension, en volts (V);

$\overline{U_{1-2}}$ est la moyenne du gradient de tension, en volts (V).

L'évaluation est effectuée de la manière décrite dans l'EN 50162:2004, Tableau 1. Si l'activité des courants vagabonds dépasse la valeur admissible mentionnée dans l'EN 50162, il peut s'avérer nécessaire d'effectuer des mesures continues sur 24 h et d'évaluer la variation de tension positive de la structure métallique.

A.5 Joints isolants

La Figure A.5 montre le montage de mesure pour les essais d'un joint isolant d'un rail. Il est nécessaire de s'assurer qu'aucune liaison transversale de rail à rail ou de voie à voie n'existe sur l'intégralité du montage de mesure.



Légende

- 1 Eclisse isolante

Figure A.5 – Essai des joints isolants des rails

En service, un courant constant de quelques ampères est envoyé dans le rail à travers le joint à soumettre aux essais. La fonctionnalité du joint résulte du courant circulant vers celui-ci, et en partant. Pour les mesures, la chute de tension $U_{1,on}$ et $U_{2,on}$ est mesurée le long des sections de rails de 10 m.

Hors service, les tensions $U_{1,off}$ et $U_{2,off}$ sont enregistrées directement, par exemple 0,5 s après la coupure du courant.

La fonctionnalité du joint isolant F_J est établie en pourcent:

$$F_J = \frac{U_{2,on} - U_{2,off}}{U_{1,on} - U_{1,off} + U_{2,on} - U_{2,off}} \times 100 \% \quad (A.7)$$

où

F_J est la fonctionnalité du joint isolant, en pourcent;

$U_{1,on/off}$ est la chute de tension dans la section de mesure 1, en volts (V);

$U_{2,on/off}$ est la chute de tension dans la section de mesure 2, en volts (V).

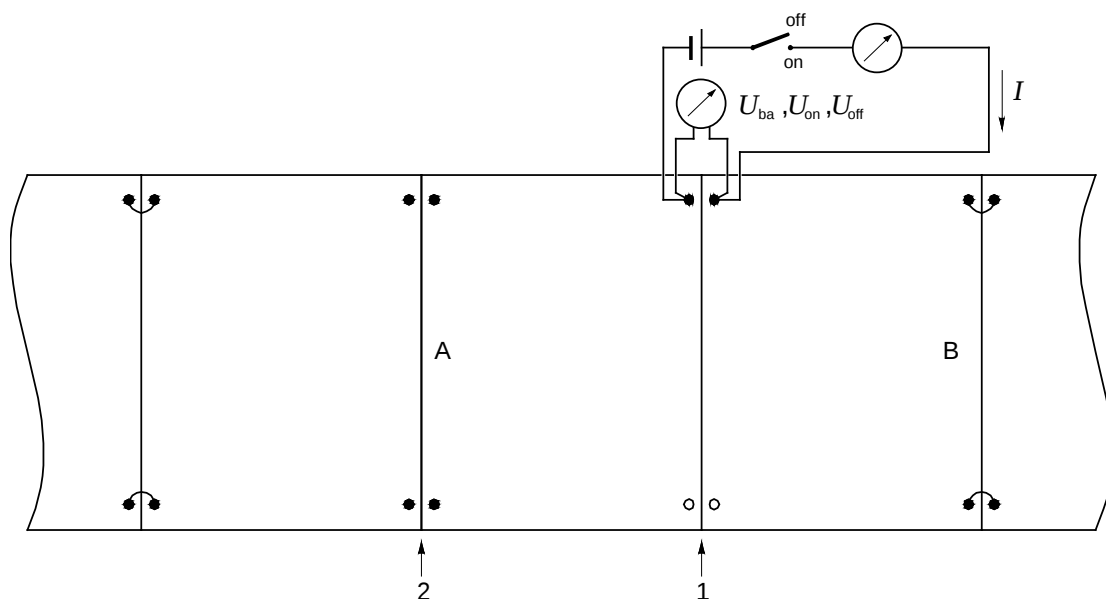
Des valeurs mesurées de $F_J \leq 95 \%$ indiquent la présence d'une connexion galvanique à travers le joint ou la défaillance de celui-ci.

A.6 Joints d'isolation entre les structures métalliques armées

La Figure A.6 représente le dispositif de mesure pour soumettre à essai le joint d'isolation entre les structures A et B. Un deuxième joint d'isolation de mesure doit être ouvert pendant la durée de la mesure et fermé pendant l'exploitation.

Sans ouvrir le joint 2, la résistance du joint d'isolation 1 correspond, à la somme des résistances à la terre des structures A et B en première approximation en tenant compte de l'influence mutuelle. Compte tenu de l'importance des surfaces en contact avec la terre, cette

résistance est très faible, ce qui signifie qu'elle ne peut pas être utilisée pour évaluer l'efficacité du joint d'isolation 1. Lorsque le joint d'isolation 2 adjacent est ouvert, une partie de la structure A est mise hors service de manière à ce que sa résistance à la terre soit décisive pour la mesure de la résistance du joint d'isolation 1.



IEC 1935/13

Légende

- 1 Joint d'isolation à mesurer
- 2 Joint à ouvrir pour effectuer les mesures
- A Structure A
- B Structure B

Figure A.6 – Essai des joints d'isolation dans les structures métalliques armées

L'essai de résistance est effectué à l'aide de la méthode de mesure tétrapolaire. La tension ambiante initiale U_{ba} est mesurée au niveau du joint d'isolation avant le premier envoi du courant. Ensuite, un courant d'environ 10 A est envoyé pendant quelques minutes. Le courant I et la tension U_{on} sont mesurés au niveau du joint d'isolation avant l'arrêt du courant. La tension U_{off} est mesurée approximativement 1 s après l'interruption du courant.

La résistance du joint d'isolation R_{joint} est calculée selon la Formule (A.8):

$$R_{joint} = \frac{U_{on} - U_{off}}{I} \quad (A.8)$$

où

R_{joint} est la résistance du joint, exprimée en ohms (Ω);

U_{on} est la tension pendant le service, exprimée en volts (V);

U_{off} est la tension hors service, après l'interruption du courant, exprimée en volts (V);

I est le courant d'injection, exprimé en ampères (A).

Si $R_{joint} \geq 0,5 \Omega$ et la polarisation $U_{off} - U_{ba} \geq 0,1 V$, la résistance du joint est suffisante.

Annexe B (informative)

Evaluation des courants vagabonds – Evaluation de l'isolation des rails par mesure de la tension rail/sol

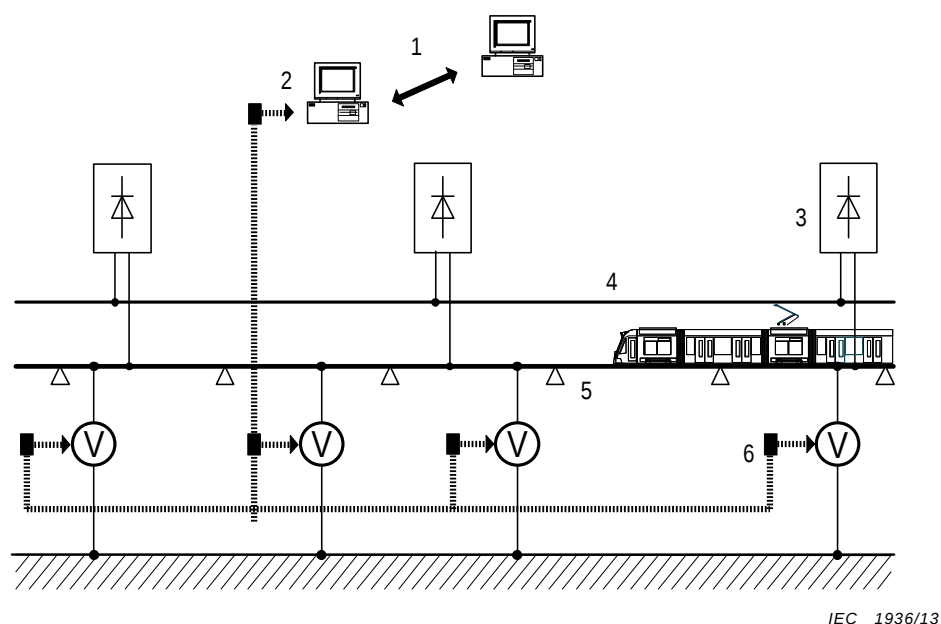
B.1 Surveillance continue de la tension rail/sol

Pour la surveillance continue, la tension rail/sol est enregistrée aux emplacements dédiés le long de la ligne, comme dans les sous-stations ou les gares de voyageurs. Afin de devenir indépendant de la variation du trafic journalier, un processus de moyennage est utilisé. Pour la durée moyenne, une période de 24 h est recommandée. Cette méthode fonctionne sans interruption et n'affecte pas la circulation des trains.

S'il y a une modification de la tension rail/sol moyenne, il y a peut-être eu une modification de la conductance rail/terre, qui donne une raison de craindre une augmentation des courants vagabonds. La valeur moyenne est donc comparée à la valeur de la situation de référence lorsque le système répond aux exigences de la présente norme.

NOTE Il est difficile d'obtenir la situation de référence dans les systèmes existants avec des courants vagabonds incertains. La distance entre les points de mesure dépend de la résolution désirée pour localiser l'emplacement de telles modifications. La forme de la tension rail/sol le long de la ligne est caractérisée par les emplacements des sous-stations, l'horaire et les caractéristiques des trains en mode traction et en mode freinage. Il est pratique de placer les points d'enregistrement, par exemple dans des sous-stations et des gares de voyageurs afin de pouvoir enregistrer une forme de tension rail/sol typique le long de la ligne. Par cette méthode, il est possible de découvrir et d'indiquer la position des déficiences dans la séparation électrique du circuit de retour des installations avec un contact à la terre, par exemple les tunnels, ponts ou autres structures de génie civil au-dessous ou à côté de la plate-forme de la voie.

L'utilisation d'un système d'acquisition de données centralisé, d'une indication automatique de la situation et de l'emplacement du point de connexion rail-terre peut être proposée pour les besoins de la maintenance, voir Figure B.1.



Légende

- | | | | |
|---|--|---|--|
| 1 | Télé-évaluation via un modem ou Internet | 4 | Ligne aérienne de contact |
| 2 | Unité d'évaluation centralisée | 5 | Circuit de retour (voie) |
| 3 | Sous-station | 6 | Capteurs de mesure et réseau de transmission des données |

Figure B.1 – Surveillance continue de la tension rail/sol

B.2 Mesures répétitives de la tension rail/sol pour la surveillance de la conductance

Il convient que les conditions préalables de mesure soient identiques à celles appliquées durant les mesures de référence précédentes. Plusieurs points de mesure sont déterminés le long de la ligne de chemin de fer. Ceux-ci peuvent être près de sous-stations, de gares de voyageurs, d'immeubles ou de bâtiments techniques et d'installations dans lesquels les courants vagabonds peuvent occasionner des problèmes spécifiques.

Des prises de terre existantes ou supplémentaires installées à ces endroits peuvent être utilisées comme terres de référence. Le montage de mesure correspond à la Figure B.1 sans évaluation centralisée. Aux points de mesure, la tension rail/sol est mesurée et enregistrée au moyen d'un enregistreur de données ou d'un voltmètre muni des fonctions de stockage des valeurs minimale, maximale et moyenne. Pour une meilleure évaluation, il est utile de reporter sur le graphique les trois valeurs (min., max., moyen) par rapport à l'itinéraire. Il convient que la période des mesures soit suffisamment longue pour obtenir une valeur moyenne utile.

A partir de chaque emplacement, les valeurs arithmétiques moyennes sont déterminées et les valeurs maximales et minimales sont notées. Ces valeurs constituent une caractéristique de la tension le long de la ligne. Cette caractéristique dépend de paramètres tels que la conductance linéique, la résistance du rail et le trafic. La caractéristique de la tension le long de la ligne indique les modifications de l'isolation du rail. Lorsque les modifications sont constatées, des études plus exhaustives utilisant des mesures plus détaillées sont nécessaires. Des contre-mesures peuvent être nécessaires en fonction des résultats.

La période peut être l'heure du trafic le plus important ou approximativement trois fois le cycle de l'horaire.

Il convient d'interpréter les résultats avec prudence lorsque les conditions préalables ont été modifiées, comme la configuration du trafic ou celle de la ligne.

Annexe C (informative)

Estimation des courants vagabonds et impact sur les structures métalliques

C.1 Estimation des courants vagabonds s'écoulant des rails de roulement à la terre

Le courant de retour de traction circulant dans les rails de roulement génère des variations de la tension rail/sol produisant un flux de courant vagabond à la terre via l'isolation de la voie.

Compte tenu du risque de corrosion, le courant vagabond par unité de longueur est décisif pour la perte de matière.

Le cas le plus sévère est l'extrémité d'une ligne ou une extension de ligne connectée à un réseau ferroviaire existant.

La méthode de calcul utilise les hypothèses suivantes:

- le chemin de fer existant est modélisé comme un circuit de Norton équivalent. L'admittance de la source est estimée avec la valeur inverse de la résistance caractéristique du système;
- le courant de traction est injecté dans le circuit de retour à la fin de cette section;

La variation de la tension rail/sol est calculée comme suit:

$$U_{RE} = 0,5 \times I \times R_C \times \left(1 - e^{-\left(\frac{L}{L_C}\right)} \right) \quad (C.1)$$

$$R_C = \sqrt{\frac{R'_R}{G'_{RE}}} \quad (C.2)$$

$$L_C = \frac{1}{\sqrt{R'_R \times G'_{RE}}} \quad (C.3)$$

où

U_{RE} est la tension rail/sol;

I est la valeur moyenne du courant de retour de traction dans la section considérée aux heures de pointe;

R_C est la résistance caractéristique des rails de roulement/structure du système;

L_C est la longueur caractéristique des rails de roulement/structure du système;

L est la longueur de la section de ligne considérée;

R'_R est la résistance longitudinale par longueur de rails de roulement y compris les conducteurs de retour parallèles;

G'_{RE} est la conductance par longueur de rails de roulement par rapport à la terre.

Le courant vagabond par unité de longueur est calculé selon la Formule (C.4) en utilisant la tension rail/sol et la conductance des rails de roulement par rapport à la terre:

$$I'_S = U_{RE} \times G'_{RE} \quad (C.4)$$

où

I'_S est le courant vagabond s'échappant des rails en fonction de la longueur

Les Formules (C.1) et (C.4) donnent la Formule (C.5):

$$I'_S = 0,5 \times \frac{I}{L_C} \times \left(1 - e^{-\left(\frac{L}{L_C}\right)} \right) \quad (C.5)$$

Les conditions de 5.2 sont satisfaites si le courant vagabond par unité de longueur, divisé par le nombre de voies parallèles est inférieur à 2,5 mA/m.

Les résultats de la Formule (C.5) sont prudents parce que la méthode de calcul considère une extrémité de ligne et ne considère pas les mouvements des trains dans les sections contiguës. Les valeurs calculées pourraient donc être plus élevées que dans la réalité. Si le résultat du calcul dépasse 2,5 mA/m par voie unique, il convient d'utiliser un calcul plus détaillé.

C.2 Estimation de la tension longitudinale dans les structures métalliques armées

En cas de structures en béton armé, par exemple les tunnels, viaducs et plates-formes de voie renforcées, le courant vagabond s'échappe des rails de roulement dans l'armature. Si l'armature n'est pas longitudinalement connectée, les courants vagabonds circulent dans la terre via l'armature externe de la structure. Dans les zones où la conductance n'est pas homogène, une fuite concentrée de courant vagabond peut apparaître et conduire à une corrosion sur l'armature externe. Une interconnexion faiblement résistive de l'armature dans la direction longitudinale réduit la chute de tension longitudinale le long de l'armature. Si cette tension est inférieure aux valeurs données dans l'EN 50162:2004, Tableau 1, il n'y a pas à se préoccuper davantage de la corrosion due aux courants vagabonds. Pour les structures métalliques armées, la tension longitudinale U_S doit être calculée en plus des courants vagabonds.

La chute de tension longitudinale dans les structures métalliques armées due à la circulation des trains dépend des paramètres d'influence suivants:

- de la longueur de la section de ligne considérée;
- de la longueur des sections de lignes adjacentes;
- de la conductance entre les rails de roulement et la structure;
- de la conductance entre la structure et la terre;
- de la résistance longitudinale des rails de roulement;
- de la résistance longitudinale de la structure interconnectée,
- du courant de retour de traction dans la section de ligne considérée;
- des courants de retour de traction de lignes adjacentes.

La tension longitudinale d'une section du circuit de retour dans une structure métallique armée de longueur infinie, est calculée comme suit:

$$U_S = 0,5 \times I \times L \times \frac{R'_R \times R'_S}{R'_R + R'_S} \times \left(1 - \frac{L_C}{L} \times \left(1 - e^{-\left(\frac{L}{L_C} \right)} \right) \right) \quad (C.6)$$

$$L_C = \frac{1}{\sqrt{(R'_R + R'_S) \times G'_{RE}}} \quad (C.7)$$

où

U_S est la tension longitudinale dans la structure métallique armée;

G'_{RE} est la conductance linéique des rails de roulement par rapport à la terre;

I est la valeur moyenne du courant de retour de traction dans la section considérée aux heures de pointe;

L est la longueur de la section de ligne considérée;

L_C est la longueur caractéristique des rails de roulement/structure du système;

R'_R est la résistance linéique longitudinale des rails de roulement y compris les conducteurs de retour parallèles;

R'_S est la résistance linéique de la structure.

Les résultats de la Formule (C.6) sont prudents. Il est supposé que la structure sur chaque côté de la section considérée est de longueur infinie. De plus, les mouvements de train dans les sections contiguës et la conductance linéique entre la structure et la terre ne sont pas pris en compte. Les valeurs calculées pourraient être plus élevées que dans la réalité. Il convient d'utiliser une méthode de calcul plus détaillée si le résultat du calcul dépasse les valeurs données dans l'EN 50162:2004, Tableau 1.

Bibliographie

CEI 60050-811:1991, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 811: Traction électrique.*

EN 12954:2001, *Protection cathodique des structures métalliques enterrées ou immergées – Principes généraux et application pour les canalisations*

EN 50162:2004, *Protection contre la corrosion due aux courants vagabonds des systèmes à courant continu*

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