

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Railway applications – Supply voltages of traction systems

Applications ferroviaires – Tensions d'alimentation des réseaux de traction





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

Tel.: +41 22 919 02 11
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.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



IEC 60850

Edition 4.0 2014-11

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Railway applications – Supply voltages of traction systems

Applications ferroviaires – Tensions d'alimentation des réseaux de traction

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

R

ICS 45.060

ISBN 978-2-8322-1928-7

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	3
1 Scope	5
2 Normative references	5
3 Terms and definitions	5
4 Voltages and frequencies of traction systems	8
4.1 Voltages	8
4.2 Frequency	10
5 Testing	11
6 Test methodology	11
6.1 Measurement of the voltage on the line	11
6.1.1 Rolling stock	11
6.1.2 Fixed installations (see Table 3)	11
6.2 Measurement of the frequency on the line (see Table 4)	12
Annex A (normative) Maximum value of voltage U according to duration (see Figure A.1)	13
Annex B (normative) Alternative values of traction power supply systems	15
Annex C (informative) Changes, interruptions and distortion of voltages	17
C.1 Rapid voltage changes	17
C.2 Contact line voltage dips	17
C.3 Short interruptions of the voltage	17
C.4 Long interruptions of the voltage	17
C.5 Distortion of the voltage (AC and DC)	17
C.6 Testing	18
C.6.1 General	18
C.6.2 Rolling stock	18
C.6.3 Fixed Installations	18
Bibliography	19
Figure A.1 – Maximum value of voltage U according to duration	13
Table 1 – Nominal voltages and their permissible limits in values and duration	9
Table 2 – Tests	11
Table 3 – Measurement of the voltage on the line	11
Table 4 – Measurement of the frequency on the line	12
Table A.1 – Overvoltages	14
Table B.1 – Implemented voltages in the world and their permissible limits in values and duration	15
Table C.1 – Measurement of the voltage variations and interruptions	18

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RAILWAY APPLICATIONS –
SUPPLY VOLTAGES OF 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 60850 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways.

The text of this standard is based on the European Norm EN 50163 (2004).

This fourth edition cancels and replaces the third edition of IEC 60850 published in 2007. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- clarification of some definitions in Clause 3,
- Subclause 4.1 completed,
- Table 1 modified,
- Annex B modified with new Table B.1.

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

FDIS	Report on voting
9/1978/FDIS	9/1996/RVD

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

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website 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 – SUPPLY VOLTAGES OF TRACTION SYSTEMS

1 Scope

This International Standard specifies the main characteristics of the supply voltages of traction systems, such as traction fixed installations, including auxiliary devices fed by the contact line, and rolling stock, for use in the following applications:

- railways;
- guided mass transport systems such as tramways, light trains, elevated and underground railways and trolleybus systems;
- rail bound material transportation systems, e.g for coal or iron-ore.

This standard is also applicable for low speed maglev trains or linear motor transport systems.

This standard does not apply to:

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

This standard deals with long term overvoltages as shown in Annex A.

2 Normative references

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

IEC 61133:2006, *Railway applications – Rolling stock – Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service*¹

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

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

3 Terms and definitions

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

¹ A new edition is under development.

NOTE See bibliography and its reference to EN 50160 for clarification of some definitions.

3.1

electric traction system

railway electrical distribution network used to provide energy for rolling stock

Note 1 to entry: The system includes:

- contact line systems,
- return circuit of electric traction systems,
- running rails of non-electric traction systems, which are in the vicinity of, and conductively connected to the running rails of an electric traction system,
- electrical installations, which are supplied from contact lines either directly or via a transformer,
- electrical installations in substations, which are utilized solely for distribution of power directly to the contact line,
- electrical installations of switching stations.

[SOURCE: IEC 62128-1:2013, 3.4.1]

3.2

voltage

U

potential at the train's current collector or elsewhere on the contact line, measured between the contact line and the return circuit

Note 1 to entry: The values considered in this standard are the mean value of DC voltage or the r.m.s. value of the fundamental AC voltage.

3.3

nominal voltage

U_n

designated value for a system

3.4

highest permanent voltage

$U_{\max 1}$

maximum value of the voltage likely to be present indefinitely

3.5

highest non-permanent voltage

$U_{\max 2}$

maximum value of the voltage likely to be present for a limited period of time

3.6

overvoltage

any voltage having a peak value exceeding the corresponding peak value of maximum steady-state voltage at normal operating conditions

3.7

long-term overvoltage

overvoltage higher than $U_{\max 2}$ lasting typically more than 20 ms, due to low impedance phenomena, for example a rise in substation primary voltage

Note 1 to entry: Such overvoltages are independent of line load and may be described by a voltage-time curve only. See Annex A for information on this curve.

3.8**highest long term overvoltage** $U_{\max 3}$

voltage defined as the highest value of the long-term overvoltage for $t = 20$ ms. This value is independent from frequency

3.9**lowest permanent voltage** $U_{\min 1}$

minimum value of the voltage likely to be present indefinitely

3.10**lowest non-permanent voltage** $U_{\min 2}$

minimum value of the voltage likely to be present for a limited period of time

3.11**voltage variation**

increase or decrease of voltage normally due to variation of the total load of a distribution system or a part of it

3.12**rapid voltage change**

single rapid variation of the r.m.s. value of a voltage between two consecutive levels which are sustained for definite but unspecified durations

3.13**supply voltage dip**

sudden reduction of the supply voltage to a value of less than $U_{\min 2}$, followed by a voltage recovery after a short period of time

Note 1 to entry: Conventionally, the duration of a voltage dip is between 10 ms and 1 min. The depth of a voltage dip is defined as the difference between the minimum r.m.s. voltage during the voltage dip and the nominal voltage U_n . Voltage changes which do not reduce the supply voltage to less than $U_{\min 2}$ are not considered to be dips.

3.14**supply interruption**

condition in which the voltage at the supply-terminals is lower than 1 % of the nominal voltage U_n

Note 1 to entry: A supply interruption can be classified as:

- pre-arranged, when consumers are informed in advance, to allow the execution of scheduled works on the distribution systems, or
- accidental, caused by permanent or transient faults, mostly related to external events, equipment failures or interference. An accidental interruption is classified as:
 - a long interruption (longer than 3 min) caused by a permanent fault,
 - a short interruption (up to 3 min) caused by a transient fault .

3.15**contact line**

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

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

- reinforcing feeders;
- cross-track feeders;

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

but excluding other conductors, such as the following:

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

[SOURCE: IEC 60913:2013, 3.1.2]

3.16

substation

traction substation

installation, the main function of which is to supply a contact line system, at which the voltage of a primary supply system, and in certain cases the frequency, is converted to the voltage and frequency of the contact line

3.17

normal operating conditions

traffic operating to the design timetable and train formation used for power supply fixed installation design. Power supply equipment is operated according to standard rules.

Note 1 to entry: Standard rules may vary depending on the infrastructure manager's policy.

3.18

abnormal operating conditions

either higher traffic loads or outage of power supply equipment outside the standard rules

Note 1 to entry: Under these conditions, traffic may not operate to the design timetable.

4 Voltages and frequencies of traction systems

4.1 Voltages

The characteristics of the generic voltages of traction power supply systems (overvoltages excluded) are specified in Table 1 below.

“Generic”, means that these voltages of the traction power supply systems are to be used in projects which have common/classical operating parameters and allow the use of other generic international standards. These traction power supply systems are implemented in many countries over the world and their efficiency is proven.

However, some countries have studied and implemented variations of the values based from these generic voltages of traction power supply systems, They have been made to solve difficulties or particular conditions such as very heavy power demand. These conditions may be:

- Need of high amount of energy avoiding voltage drops in the rails / contact line loop.
- Lack of insulation distance (narrow gauge under bridges or tunnels).
- Difficulties to find the appropriate power supply connection to the grid.
- Long tunnel necessitating very long distance between substations.

- Particular RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) requirement (e.g. extended supply zone).
- Any other particular local condition.

These alternatives are presented in Annex B, Table B.1. It is suggested, during engineering studies to read this Annex B in order to consider it.

The choice of using these alternatives shall be made taking into account interoperability requirements if connection with another railway system is foreseen.

Table 1 – Nominal voltages and their permissible limits in values and duration

Electrification system	Lowest non-permanent voltage $U_{\min 2}$ V	Lowest permanent voltage $U_{\min 1}$ V	Nominal voltage U_n V	Highest permanent voltage $U_{\max 1}$ V	Highest non-permanent voltage $U_{\max 2}$ V
DC (mean values)	500	500	750	900	1 000
	1 000	1 000	1 500	1 800	1 950
	2 000	2 000	3 000	3 600	3 900
AC (r.m.s. values)	11 000	12 000	15 000 ^a	17 250	18 000
	17 500	19 000	25 000 ^b	27 500	29 000
^a 16,7 Hz.					
^b 50 Hz and 60 Hz.					

The following requirements shall be fulfilled:

- the duration of voltages between $U_{\min 1}$ and $U_{\min 2}$ shall not exceed 2 min;
the duration of voltages between $U_{\max 1}$ and $U_{\max 2}$ shall not exceed 5 min;
- the voltage of the busbar at the substation at no load condition shall be less than or equal to $U_{\max 1}$. For DC substations, it is acceptable to have this voltage at no load condition less than or equal to $U_{\max 2}$, provided that when a train is present, the voltage at this train's pantograph (s) is in accordance with Table 1 and its requirements;
- under normal operating conditions, voltages shall lie within the range $U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}$;
- under abnormal operating conditions the voltages in the range $U_{\min 2} \leq U \leq U_{\min 1}$ in Table 1 shall not cause any damages or failures;

NOTE The use of train power limitation devices on board may limit the presence of low voltage on the contact line (see IEC 62313).

- if voltages between $U_{\max 1}$ and $U_{\max 2}$ are reached, they shall be followed by a level below or equal to $U_{\max 1}$, for an unspecified period;
- Voltages between $U_{\max 1}$ and $U_{\max 2}$ shall only be reached for non-permanent conditions such as
 - regenerative braking,
 - move of voltage regulation systems such as mechanical tap changer;
- lowest operational voltage: under abnormal operating conditions $U_{\min 2}$ is the lowest limit of the contact line voltage for which the rolling stock is intended to operate.

Recommended set values for undervoltage tripping relays in fixed installations or on board rolling stock are from 85 % to 95 % of $U_{\min 2}$.

4.2 Frequency

The frequency of the 50 Hz and 60 Hz electric traction systems is imposed by the three phase grid.

NOTE 1 Therefore, the values stated in EN 50160 are applicable in Europe.

The frequency of the 16,7 Hz electric traction system (except for synchronous-synchronous converters) is not imposed by the three phase grid.

NOTE 2 Concerning the 16,7 Hz electric traction system, strictly considered, the frequency corresponds to 16⅔ Hz. In order to simplify the denomination of the system, it is agreed to state the frequency as 16,7 Hz. This denomination is used in this standard.

The frequencies on AC railway power systems and their permissible limits are shown hereinafter.

Under normal operating conditions, the mean value of the fundamental frequency measured over 10 s shall be within a range of the HV supply network.

- For systems with synchronous connection to an interconnected system:
 - 50 Hz $\pm$ 1 % (i.e. 49,5 Hz to 50,5 Hz) for 99,5 % of a year
 - 50 Hz + 4 %/–6 % (i.e. 47 Hz to 52 Hz) for 100 % of the time
- For systems with no synchronous connection to an interconnected system (e.g. supply systems on certain islands):
 - 50 Hz $\pm$ 2 % (i.e. 49 Hz to 51 Hz) for 95 % of a week
 - 50 Hz $\pm$ 15 % (i.e. 42,5 Hz to 57,5 Hz) for 100 % of the time

For 60 Hz electric traction systems, the limit values for frequency variations are from 59 Hz to 61 Hz.

NOTE 3 Special national conditions for China, see Annex B.

For 16,7 Hz electric traction systems, the value are:

- for systems with synchronous connection to an interconnected system:
 - 16,7 Hz $\pm$ 1 % (i.e. 16,5 Hz to 16,83 Hz) for 99,5 % of a year
 - 16,7 Hz + 4 %/–6 % (i.e. 15,67 Hz to 17,33 Hz) for 100 % of the time
- for systems with no synchronous connection to an interconnected system (e.g. supply systems on certain islands):
 - 16,7 Hz $\pm$ 2 % (i.e. 16,33 Hz to 17 Hz) during 95 % of a week
 - 16,7 Hz $\pm$ 15 % (i.e. 14,16 Hz to 19,16 Hz) during 100 % of the time
- For systems connected to the railway 16,7 Hz interconnected grid:
 - 16,7 Hz + 2 %/–3 % (i.e. 16,17 Hz to 17 Hz) during 100 % of the time

NOTE 4 In practice, the variation of frequency is more closely controlled in some countries and regions such as in Europe and in Japan than stated above. Vehicles will operate only within the frequency tolerances for 15 000 V/16,7 Hz from 16,17 Hz to 17 Hz and for 25 000 V/50 Hz range from 49 Hz to 51 Hz. If the frequency is out of this range, the vehicles performance may be reduced or the vehicle drives may be disconnected.

The effects of the frequency variations may be examined by the railway operators to ensure the absence of harmful consequences on the train signalling.

For other traction frequencies, national regulations apply.

5 Testing

The tests specified in Table 2 are applicable, depending on the type of the line and on the need.

Table 2 – Tests

Title	Technical requirement	Test methodology	Kind of test
Voltage on the line	4.1	6.1.1 Rolling stock	Measurement
		6.1.2 Fixed installations	Measurement
Frequency	4.2	6.2 16,7 Hz only ^a	Continuous monitoring test

^a The test is only necessary for 16,7 Hz systems which are not fed by at least one synchronous–synchronous rotating converter (= synchronous connection to an interconnected system).

NOTE Annex C describes the tests related to voltage changes.

6 Test methodology

6.1 Measurement of the voltage on the line

6.1.1 Rolling stock

Rolling stock shall be tested as described in Clause 9 of IEC 61133:2006.

6.1.2 Fixed installations (see Table 3)

Table 3 – Measurement of the voltage on the line

Where	When	How	Acceptance condition
Substation Busbar, line circuit breakers open, normal operating conditions. For DC substations, it may be necessary to add a small resistive load.	At commissioning	- Voltage recorder for the fundamental frequency or - Digital data loggers with a frequency range greater than or equal to 2 kHz averaging over 1 s - Measurement period 1 min	See 4.1 item c)
If a voltage conditioning device is installed along the line Measure on either side of the device under no load and normal operating condition	At commissioning and operating	No load ⇒ see substation When in operation ⇒ see ad hoc measurement	No load ⇒ see substation When in operation ⇒ see ad hoc measurement
Ad hoc measurement at the site, where problems are situated.	In response to problems	- Voltage recorder devices for the fundamental frequency or - Digital data loggers with a frequency range greater than or equal to 2 kHz averaging over 1 s - Measurement period minimum 1 h maximum 1 week	- All voltage values are greater than or equal to U_{min2}. - All durations of voltages below U_{min1} are less than or equal to the duration stated in 4.1 item a). - Average value of the voltage is between U_{min1} and U_{max1}. - All durations of voltages above U_{max1} are less than or equal to the duration stated in 4.1, item b). - If voltage values are less than or equal to U_{max2}.

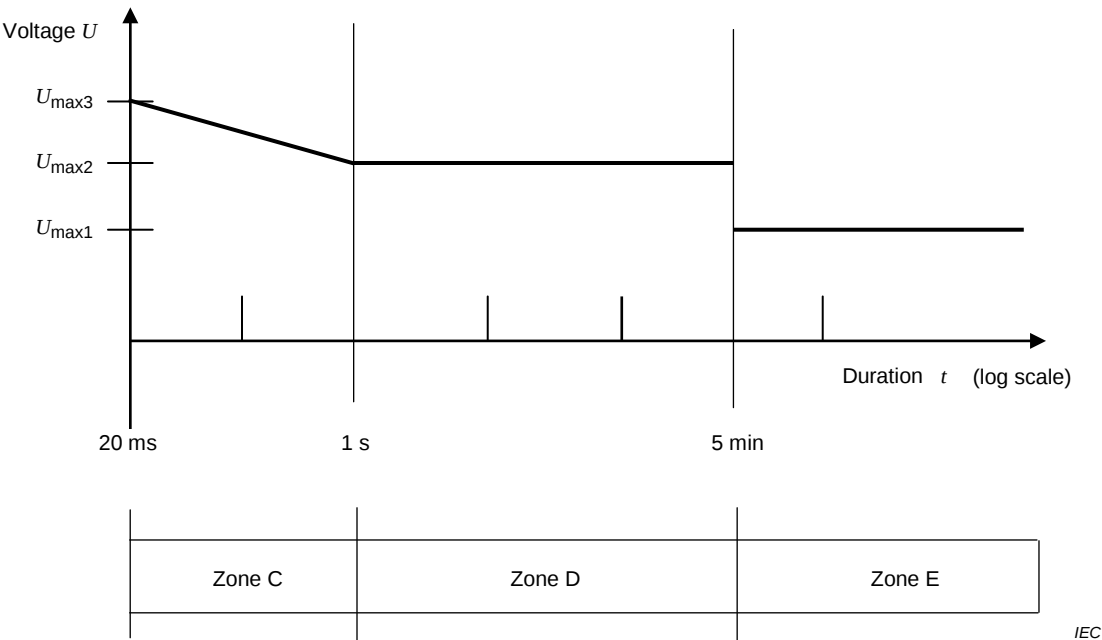
6.2 Measurement of the frequency on the line (see Table 4)

Table 4 – Measurement of the frequency on the line

Where	When	How	Acceptance condition
Continuous monitoring Only for networks, that are not imposed by the 3-phase grid Continuous monitoring in connection with the frequency closed loop control in the generating stations or in the network control centre	At commissioning and operating	Digital data loggers with a frequency range ≥ 2 kHz	All frequency values are in the ranges given in 4.2.

Annex A
(normative)

Maximum value of voltage U according to duration (see Figure A.1)



Key

Zones A and B are not shown in this Figure, see IEC 62497-2.

Zone C Long-term overvoltages

The variation of the ratio $U/U_{\max2}$ versus duration is identified by

$$U = U_{\max2} \times t^{-k}$$

where

t is the time in seconds ($0,02 \text{ s} \leq t \leq 1 \text{ s}$);

k is the coefficient given in Table A.1.

The representation in log coordinates of this equation is a line. The slope is given by k .

Zone D Highest non-permanent voltage $U_{\max2}$

Zone E Highest permanent voltage $U_{\max1}$

Figure A.1 – Maximum value of voltage U according to duration

Table A.1 gives values for k , $U_{\max1}$, $U_{\max2}$ and $U_{\max3}$ while the values between $U_{\max2}$ and $U_{\max3}$ are calculated using the formula given herein above.

Table A.1 – Overvoltages

Nominal voltage U_n V	750	1 500	3 000	15 000	25 000
Coefficient k	0,061 1	0,067 6	0,067 3	0,076 7	0,074 1
$U_{\max 1}$	900	1 800	3 600	17 250	27 500
$U_{\max 2}$	1 000	1 950	3 900	18 000	29 000
$U_{\max 3}$	1 270	2 540	5 075	24 300	38 750

NOTE For DC systems, concerning $U_{\max 3}$ limit and related time limit of 20 ms, it is known that switching-off transients of on board circuit breakers may cause these limits to be exceeded. From experience and measurement, values up to $4 \times U_n$ lasting for up to 100 ms have been recorded. These values may affect mainly on board equipment such as input circuits of converters. Traction equipment cannot be protected against such peak overvoltages. This statement is for information only and is not to be tested.

Annex B (normative)

Alternative values of traction power supply systems

Subclause 4.1: In some countries, voltages of the traction power supply systems quoted in Table 1 are used with other tolerances or are modified or other traction power supply systems are used. Table B.1 below describes these alternative traction power supply systems and the location of their use.

Table B.1 – Implemented voltages in the world and their permissible limits in values and duration

Electri- fication system	Lowest non- permanent voltage $U_{\min 2}$ V	Lowest permanent voltage $U_{\min 1}$ V	Nominal voltage U_n V	Highest permanent voltage $U_{\max 1}$ V	Highest non- permanent voltage $U_{\max 2}$ V	Country
DC (mean values)	400	400	600	720	800	Existing systems ^a
	360	360	600	720	800	Japan
	400 ^d	500	750	900	1 000	UK ^g
	450	450	750	900	1 000	Japan
	900	900	1 500	1 800	1 950	Japan
	2 000	2 000	3 000	3 600	3 800	Belgium
AC (r.m.s. values)	8 400	9 600	12 000	13 200	14 400	USA ^b
	8 750	10 000	12 500	13 750	15 000	USA ^c
	16 000	16 000	20 000 ^h	22 000	24 000	Japan
	20 000	22 500	25 000 ⁱ	30 000	32 000	Japan
	12 500 ^{d,f} / 14 000 ^{d,e}	19 000	25 000	27 500	29 000	UK ^g
	17 500	20 000	25 000	27 500	30 000	USA
	17 500	19 000	25 000	27 500	30 500	China
	17 500	19 000	25 000	27 500	29 000	EU
	35 000	40 000	50 000	55 000	60 000	USA and RSA

^a Future DC traction systems for tramways and local railways should conform with system nominal voltage of 750 V, 1 500 V or 3 000 V.

^b 25 Hz, see Table 2 of IEEE Std 16.

^c 60 Hz, see Table 2 of IEEE Std 16.

^d For existing networks, which are not compliant with this standard, the values of lowest non-permanent voltage $U_{\min 2}$ for normal traffic loads but where there are power supply equipment outages outside design standards, shall be as follows:

^e Minimum voltage at which a train shall continue to operate for up to 10 min without being damaged;

^f Minimum voltage at which a train shall continue to operate for up to 2 min without being damaged.

^g For existing networks where there is no provision for voltage regulation systems, $U_{\max 1}$ may be exceeded.

^h May be used on lines, where topographical constraints makes it difficult to use 25 000 V power supply system, e.g. reduced gauge.

ⁱ May be used on lines, where topographical constraints such as mountainous area and/or undersea tunnels make the distance between substations longer, and of higher traffic density.

If use of a 25 000 V alternative is foreseen, then, it has to be noted that the infrastructure and the rolling stock adapted to other standards for 25 000 V is not directly applicable.

Subclause 4.2: China

The tolerance of 50 Hz shall be $\pm 0,2$ Hz, and when the system capacity is lower, the tolerance can be $\pm 0,5$ Hz instead of the values given in 4.2 for 50 Hz electric traction system.

Annex C (informative)

Changes, interruptions and distortion of voltages

C.1 Rapid voltage changes

Rapid voltage changes within the ranges set up in Table 1 are an inherent part of railway electrification due to changes in traction load, configuration of traction power supply network or configuration of the public or railway power supply network.

C.2 Contact line voltage dips

Voltage dips are caused by faults on the contact line or on public distribution systems.

The majority of voltage dips have a duration of less than 1 s and a depth of less than 50 % of U_n .

C.3 Short interruptions of the voltage

Under normal operating conditions, voltage short interruptions are generally caused by circuit breakers tripping and auto-reclosing operations after the detection of faults. The auto-reclosing cycles are described in switchgear standards (IEC 61992, IEC 62505).

Information is also given in IEC 62313.

The annual occurrence of short interruptions of the supply voltage ranges from up to a few tens to up to several hundreds. The duration of approximately 70 % of the short interruptions may be less than 10 s.

C.4 Long interruptions of the voltage

Accidental interruptions are usually caused by external events or actions which cannot be prevented by the infrastructure manager.

It is not possible to indicate typical values for duration of long interruptions.

Under normal operating conditions the annual frequency of voltage interruptions longer than 3 min may be less than some units.

Indicative values are not given for prearranged interruptions, because they are announced in advance.

C.5 Distortion of the voltage (AC and DC)

The voltage is distorted by traction and auxiliary loads, converter substations and the public distribution system.

This results in high and low frequency harmonics which may include, only for AC, offset (transient) and extra zero crossings.

C.6 Testing

C.6.1 General

The parameters for voltage changes are set out in Clauses C.1, C.2, C.3 and C.4 (technical). Testing and acceptance requirements are detailed below.

C.6.2 Rolling stock

The requirements for testing of rolling stock after completion of construction and before entry into service are set out in Clause 9 of IEC 61133:2006. See also the product standards.

C.6.3 Fixed Installations

Table C.1 – Measurement of the voltage variations and interruptions

Where	When	How
Ad hoc measurement At the site, where problems are situated.	In response to problems	• Clauses C.1, C.2, C.3 and C.4 (technical) do not require any specific type or routine test. However, after the introduction of service, if a problem is noted which is related to the quality of the voltage, then it is suggested that the voltage should be monitored over a representative period after the introduction of full normal service. The results should be analysed as follows. • Rapid voltage changes and contact line voltage dips. Capture voltages below $U_{\min 2}$ and analyse data to give voltage level as a percentage of U_n and duration in milliseconds. Tabulate worst cases in terms of lowest voltage levels and duration. Identify any faults or switching on the railway electrification or public distribution systems at the time of the tabulated changes. • Short and long interruptions of the voltage Capture all voltage interruptions and record time of each interruption. Tabulate voltage interruptions by number in the following time bands: – < 10 s – 10 s – 1 min – 1 min – 3 min – > 3 min Give time for any interruptions exceeding 3 min but ignore any pre-arranged interruptions.

Bibliography

IEC 60038, *IEC Standard voltages*

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

IEC 60913, *Railway applications – Fixed installations – Electric traction overhead contact lines*

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

IEC 62313, *Railway applications – Power supply and rolling stock – Technical criteria for the coordination between power supply (substation) and rolling stock*

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

EN 50123, all parts, *Railway applications – Fixed installations – D.C. switchgear*

EN 50124-1, *Railway applications – Insulation co-ordination – Part 1: Basic requirements – Clearances and creepage distances for all electrical and electronic equipment*

EN 50124-2, *Railway applications – Insulation coordination – Part 2: Overvoltages and related protection*

EN 50152, all parts, *Railway applications – Fixed installations – Particular requirements for a.c. switchgear*

EN 50160:1999, *Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems*

EN 50163:2004, *Railway applications – Supply voltages of traction systems*

EN 50388, *Railway applications – Power supply and rolling stock – Technical criteria for the coordination between power supply (substation) and rolling stock to achieve interoperability*

UIC 550-OR, *Power supply installations for passenger stock*

UIC 550-2-OR, *Power supply systems for passenger coaches – Type testing*

IEEE Std 16, 2004, *IEEE Standard for Electrical and Electronic Control Apparatus on Rail Vehicles*

Technical specification for interoperability, TSI Energy subsystem, *for conventional rail and high speed rail in European Union*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	21
1 Domaine d'application	23
2 Références normatives	23
3 Termes et définitions	24
4 Tensions et fréquences des réseaux de traction	26
4.1 Tensions	26
4.2 Fréquence	28
5 Essais	29
6 Méthodologie d'essai	29
6.1 Mesure de la tension de la ligne	29
6.1.1 Matériel roulant	29
6.1.2 Installations fixes (voir Tableau 3)	30
6.2 Mesure de la fréquence de la ligne (voir Tableau 4)	30
Annexe A (normative) Valeur maximale de la tension U en fonction de la durée (voir Figure A.1)	31
Annexe B (normative) Valeurs alternatives pour les réseaux d'alimentation de traction	33
Annexe C (informative) Variations, interruptions et distorsions de la tension	35
C.1 Variations rapides de la tension	35
C.2 Creux de tension sur la ligne de contact	35
C.3 Interruptions brèves de la tension	35
C.4 Interruptions longues de la tension	35
C.5 Distorsion de la tension (courant alternatif et courant continu)	35
C.6 Essais	36
C.6.1 Généralités	36
C.6.2 Matériel roulant	36
C.6.3 Installations fixes	36
Bibliographie	37
Figure A.1 – Valeur maximale de la tension U en fonction de la durée	31
Tableau 1 – Tensions nominales et leurs limites admissibles en valeur et en durée	27
Tableau 2 – Essais	29
Tableau 3 – Mesure de la tension de la ligne	30
Tableau 4 – Mesure de la fréquence de la ligne	30
Tableau A.1 – Surtensions	32
Tableau B.1 – Tensions mises en œuvre dans le monde et leurs limites admissibles en valeur et en durée	33
Tableau C.1 – Mesure des variations et des interruptions des tensions	36

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**APPLICATIONS FERROVIAIRES –
TENSIONS D'ALIMENTATION DES RÉSEAUX DE TRACTION****AVANT-PROPOS**

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

La Norme internationale IEC 60850 a été établie par le comité d'études 9 de l'IEC: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

Le texte de cette norme est fondé sur la Norme Européenne EN 50163 (2004).

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition de l'IEC 60850 parue en 2007. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- clarification de certaines définitions à l'Article 3;
- finalisation du paragraphe 4.1;
- modification du Tableau 1;

- modification de l'Annexe B avec le nouveau Tableau B.1.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
9/1978/FDIS	9/1996/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/IEC, Partie 2.

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

- transformée en Norme internationale,
- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

APPLICATIONS FERROVIAIRES – TENSIONS D'ALIMENTATION DES RÉSEAUX DE TRACTION

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les caractéristiques principales des tensions d'alimentation des réseaux de traction, comme les installations fixes de traction, incluant les appareils auxiliaires alimentés par la ligne de contact et le matériel roulant, destinées à être utilisées dans les applications suivantes:

- chemins de fer;
- systèmes de transport de masse guidés tels que les tramways, les trains légers, les métros souterrains ou aériens et les trolleybus;
- systèmes de transport de matériaux sur rails, par exemple pour le charbon ou le minerai de fer.

La présente norme est également applicable pour les trains à lévitation magnétique à faible vitesse ou les systèmes de transport à moteur linéaire.

Cette norme ne s'applique pas aux:

- systèmes de traction utilisés dans les mines souterraines;
- grues, plates-formes mobiles et équipement similaire de transport sur rails, structures temporaires (par exemple: structures d'exposition), dans la mesure où elles ne sont pas alimentées directement ou par l'intermédiaire de transformateurs par le réseau de ligne de contact et où elles ne sont pas mises en danger par le réseau d'alimentation de la traction;
- véhicules suspendus à des câbles;
- funiculaires.

Cette norme traite des surtensions de longue durée, comme indiqué dans l'Annexe A.

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).

IEC 61133:2006, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais de matériel roulant après achèvement et avant mise en service*¹

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

IEC 62497-2, *Applications ferroviaires – Coordination de l'isolement – Partie 2: Surtensions et protections associées*

¹ Une nouvelle édition est en préparation.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 62128-1 ainsi que les suivants s'appliquent.

NOTE Voir la bibliographie et ses références à l'EN 50160 pour la clarification de certaines définitions.

3.1

système de traction électrique

réseau de distribution électrique destiné à l'alimentation en énergie du matériel roulant ferroviaire

Note 1 à l'article: Le système mécanique comprend:

- des systèmes de ligne de contact,
- un circuit de retour des réseaux de traction électrique,
- des rails de roulement de réseaux de traction autres qu'électriques, qui sont placés au voisinage et électriquement reliés aux rails de roulement d'un réseau de traction électrique,
- des installations électriques alimentées par les lignes de contact soit directement, soit par un transformateur,
- des installations électriques dans les sous-stations utilisées uniquement pour la distribution d'énergie directement aux lignes de contact,
- des installations électriques de postes de sectionnement.

[SOURCE: IEC 62128-1:2013, 3.4.1]

3.2

tension

U

potentiel au capteur de courant du train ou à un autre endroit sur la ligne de contact, mesuré entre la ligne de contact et le circuit de retour

Note 1 à l'article: Les valeurs considérées dans la présente norme sont la valeur moyenne de la tension continue ou la valeur efficace de la tension alternative fondamentale.

3.3

tension nominale

U_n

tension de désignation d'un réseau

3.4

tension permanente la plus élevée

$U_{\max 1}$

valeur maximale de la tension susceptible d'être présente sans limitation dans le temps

3.5

tension non permanente la plus élevée

$U_{\max 2}$

valeur maximale de la tension susceptible d'être présente pendant une durée limitée

3.6

surtension

toute tension dont la valeur de crête dépasse la valeur de crête correspondant à la tension maximale en régime établi dans des conditions normales d'exploitation

3.7

surtension de longue durée

surtension supérieure à $U_{\max 2}$, durant typiquement plus de 20 ms, due à des phénomènes à basse impédance, par exemple une augmentation de la tension primaire d'une sous-station

Note 1 à l'article: De telles surtensions sont indépendantes de la charge de la ligne et peuvent être décrites uniquement par une courbe tension/temps. Voir l'Annexe A pour des informations sur cette courbe.

3.8

surtension la plus élevée de longue durée

$U_{\max 3}$

tension définie comme la valeur la plus élevée de la surtension de longue durée pour $t = 20$ ms. Cette valeur est indépendante de la fréquence

3.9

tension permanente la plus basse

$U_{\min 1}$

valeur minimale de la tension susceptible d'être présente sans limitation dans le temps

3.10

tension non permanente la plus basse

$U_{\min 2}$

valeur minimale de la tension susceptible d'être présente pendant une durée limitée

3.11

variation de la tension

augmentation ou diminution de tension normalement provoquée par la variation de la charge totale du réseau de distribution ou d'une partie de celui-ci

3.12

changement rapide de la tension

variation unique et rapide de la valeur efficace d'une tension entre deux niveaux consécutifs maintenus pendant des durées définies mais non spécifiées

3.13

creux de la tension d'alimentation

baisse brutale de la tension d'alimentation jusqu'à une valeur inférieure à $U_{\min 2}$, suivie d'un rétablissement de la tension après un court laps de temps

Note 1 à l'article: Par convention, la durée d'un creux de tension est comprise entre 10 ms et 1 min. La profondeur d'un creux de tension est définie comme la différence entre la tension efficace minimale durant le creux de tension et la tension nominale U_n . Les changements de tension qui n'abaissent pas la tension d'alimentation en dessous de $U_{\min 2}$ ne sont pas considérés comme des creux.

3.14

interruption d'alimentation

condition dans laquelle la tension aux bornes est inférieure à 1 % de la tension nominale U_n

Note 1 à l'article: Une interruption d'alimentation peut être classée comme:

- prévue à l'avance, lorsque les consommateurs sont informés à l'avance, pour permettre l'exécution des travaux planifiés sur le réseau de distribution, ou
- accidentelle, causée par des défauts permanents ou transitoires, généralement en relation avec des événements extérieurs, des défaillances d'équipement ou des interférences. Une interruption accidentelle est classée comme:
 - une longue interruption (durée supérieure à 3 min) causée par un défaut permanent,
 - une courte interruption (jusqu'à 3 min) causée par un défaut transitoire.

3.15

ligne de contact

ligne électrique destinée à alimenter des unités de traction en énergie électrique, par l'intermédiaire d'organes de prise de courant

Note 1 à l'article: Ce terme englobe tous les conducteurs de prise de courant et tous les rails conducteurs ou toutes les barres conductrices, y compris les équipements suivants:

- câbles de renfort;

- câbles d'alimentation entre voies;
- sectionneurs;
- isolateurs de section;
- dispositifs de protection contre les surtensions;
- supports qui ne sont pas isolés des conducteurs;
- isolateurs reliés aux parties actives;
- à l'exclusion d'autres conducteurs, tels que les suivants:
- câbles d'alimentation le long des voies;
- câbles de garde et conducteurs de retour.

[SOURCE: IEC 60913:2013, 3.1.2]

3.16

sous-station

sous-station de traction

installation, dont la fonction principale consiste à alimenter un réseau de lignes de contact, au niveau de laquelle la tension du réseau d'alimentation primaire, et dans certains cas la fréquence, est convertie pour obtenir la tension et la fréquence de la ligne de contact

3.17

conditions normales d'exploitation

exploitation du trafic suivant l'horaire projeté et la composition des trains utilisée pour la conception des installations fixes de traction. Le matériel des installations fixes est exploité suivant les règles normales

Note 1 à l'article: Les règles normales peuvent varier suivant la politique d'exploitation du gestionnaire de l'infrastructure.

3.18

conditions anormales d'exploitation

soit des charges de trafic plus élevées, soit une panne d'une installation d'alimentation hors des règles normales

Note 1 à l'article: Dans ces conditions, le trafic peut ne pas être exploité suivant l'horaire projeté.

4 Tensions et fréquences des réseaux de traction

4.1 Tensions

Les caractéristiques des tensions génériques des réseaux d'alimentation de traction (à l'exclusion des surtensions) sont spécifiées dans le Tableau 1 ci-après.

“Générique” signifie que ces tensions de réseaux d'alimentation de traction doivent être utilisées dans des projets dont les paramètres de fonctionnement sont communs/classiques et permettent l'utilisation d'autres normes internationales génériques. Ces réseaux d'alimentation de traction sont mis en œuvre dans de nombreux pays du monde et leur efficacité est prouvée.

Néanmoins, certains pays ont étudié et mis en œuvre les variations des valeurs à partir de ces tensions génériques des réseaux d'alimentation de traction. Celles-ci ont été développées pour résoudre des difficultés ou pour prendre en compte des conditions particulières comme une puissance appelée très élevée. Ces conditions peuvent exister en cas de:

- Nécessité d'une grande quantité d'énergie en évitant les chutes de tension dans les rails/la boucle de la ligne de contact.
- Manque de distance d'isolement (gabarit étroit sous les ponts ou les tunnels).
- Difficultés pour trouver le raccordement d'alimentation électrique approprié vers le réseau.

- Tunnel de grande longueur nécessitant une distance très importante entre les sous-stations.
- Exigence particulière concernant la FDMS (Fiabilité, Disponibilité, Maintenabilité et Sécurité) (par exemple, zone d'alimentation étendue).
- Toute autre condition locale particulière.

Ces alternatives sont présentées dans le Tableau B.1 de l'Annexe B. Il est suggéré de lire cette Annexe B pendant les études d'ingénierie pour prendre en compte cet aspect.

Le choix d'utiliser ces alternatives doit être fait en tenant compte des exigences d'interopérabilité si le raccordement avec un autre réseau ferroviaire est prévu.

Tableau 1 – Tensions nominales et leurs limites admissibles en valeur et en durée

Système d'électrification	Tension non permanente la plus basse $U_{\min 2}$ V	Tension permanente la plus basse $U_{\min 1}$ V	Tension nominale U_n V	Tension permanente la plus élevée $U_{\max 1}$ V	Tension non permanente la plus élevée $U_{\max 2}$ V
Courant continu (valeurs moyennes)	500	500	750	900	1 000
	1 000	1 000	1 500	1 800	1 950
	2 000	2 000	3 000	3 600	3 900
Courant alternatif (valeurs efficaces)	11 000	12 000	15 000 ^a	17 250	18 000
	17 500	19 000	25 000 ^b	27 500	29 000
^a 16,7 Hz.					
^b 50 Hz et 60 Hz.					

Les exigences suivantes doivent être remplies:

- la durée des tensions entre $U_{\min 1}$ et $U_{\min 2}$ ne doit pas dépasser 2 min;
la durée des tensions entre $U_{\max 1}$ et $U_{\max 2}$ ne doit pas dépasser 5 min;
- la tension de la barre omnibus à la sous-station, à vide, doit être inférieure ou égale à $U_{\max 1}$. Pour les sous-stations à courant continu, il est acceptable que cette tension à vide soit inférieure ou égale à $U_{\max 2}$, si en présence d'un train, la valeur de la tension au(x) pantographe(s) de ce train est conforme au Tableau 1 et à ses exigences;
- en conditions normales d'exploitation, les valeurs de la tension doivent se situer dans la gamme $U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}$;
- en conditions anormales d'exploitation, les tensions dans la gamme $U_{\min 2} \leq U \leq U_{\min 1}$ du Tableau 1 ne doivent causer ni destruction, ni défaut;

NOTE L'utilisation de systèmes de réduction d'appel de puissance à bord du train est susceptible de limiter la présence d'une tension basse sur la ligne de contact (voir l'IEC 62313).

- si les tensions entre $U_{\max 1}$ et $U_{\max 2}$ sont atteintes, elles doivent être suivies par un niveau inférieur ou égal à $U_{\max 1}$ pour une période indéterminée;
- les tensions entre $U_{\max 1}$ et $U_{\max 2}$ ne doivent être atteintes que dans les conditions non permanentes telles que:
 - freinage par récupération,
 - déplacement de systèmes de réglage de la tension, par exemple gradateur mécanique;
- la tension de service la plus basse: dans des conditions d'exploitation anormales, $U_{\min 2}$ est la limite inférieure de la tension de la ligne de contact pour laquelle le matériel roulant est prévu d'être exploité.

Les valeurs définies recommandées pour les relais à déclenchement en cas de sous-tensions dans les installations fixes ou à bord du matériel roulant sont comprises entre 85 % et 95 % de $U_{\min 2}$.

4.2 Fréquence

La fréquence des réseaux de traction électrique à 50 Hz et à 60 Hz est imposée par le réseau triphasé.

NOTE 1 Par conséquent, les valeurs stipulées dans l'EN 50160 sont applicables en Europe.

La fréquence du réseau de traction électrique 16,7 Hz (à l'exception des convertisseurs synchrone-synchrone) n'est pas imposée par le réseau triphasé.

NOTE 2 Concernant le réseau de traction électrique 16,7 Hz, au sens strict, la fréquence correspond à 16⅔ Hz. Dans le but de simplifier la dénomination du réseau, il est accepté d'indiquer la fréquence sous la forme 16,7 Hz. Cette dénomination est utilisée dans la présente norme.

Les fréquences des réseaux électriques ferroviaires en courant alternatif et leurs limites admissibles sont données ci-après.

En conditions normales d'exploitation, la valeur moyenne de la fréquence fondamentale mesurée sur 10 s doit être dans les limites du réseau d'alimentation HT.

- Pour les réseaux avec une connexion synchrone à un réseau interconnecté:
 - 50 Hz $\pm$ 1 % (c'est-à-dire 49,5 Hz à 50,5 Hz) pour 99,5 % d'une année
 - 50 Hz + 4 %/–6 % (c'est-à-dire 47 Hz à 52 Hz) pour 100 % du temps
- Pour les réseaux sans connexion synchrone à un réseau interconnecté (par exemple réseaux d'alimentation de certaines îles):
 - 50 Hz $\pm$ 2 % (c'est-à-dire 49 Hz à 51 Hz) pour 95 % d'une semaine
 - 50 Hz $\pm$ 15 % (c'est-à-dire 42,5 Hz à 57,5 Hz) pour 100 % du temps

Pour les systèmes de traction électrique 60 Hz, les valeurs des variations des fréquences sont limitées entre 59 Hz et 61 Hz.

NOTE 3 Voir l'Annexe B pour les conditions nationales particulières pour la Chine.

Pour les réseaux de traction électrique 16,7 Hz, les valeurs sont:

- pour les réseaux avec une connexion synchrone à un réseau interconnecté:
 - 16,7 Hz $\pm$ 1 % (c'est-à-dire 16,5 Hz à 16,83 Hz) pour 99,5 % d'une année
 - 16,7 Hz +4 %/–6 % (c'est-à-dire 15,67 Hz à 17,33 Hz) pour 100 % du temps
- pour les réseaux sans connexion synchrone à un réseau interconnecté (par exemple réseaux d'alimentation de certaines îles):
 - 16,7 Hz $\pm$ 2 % (c'est-à-dire 16,33 Hz à 17 Hz) pour 95 % d'une semaine
 - 16,7 Hz $\pm$ 15 % (c'est-à-dire 14,16 Hz à 19,16 Hz) pour 100 % du temps
- pour les réseaux connectés au réseau ferroviaire 16,7 Hz interconnecté:
 - 16,7 Hz +2 %/–3 % (c'est-à-dire 16,17 Hz à 17 Hz) pour 100 % du temps

NOTE 4 En pratique, la variation de fréquence est contrôlée de plus près dans certains pays et certaines régions comme en Europe ou au Japon par rapport aux indications figurant ci-dessus. La gamme des fréquences tolérées pour des véhicules en service ne pourra être que de 16,17 Hz à 17 Hz pour les valeurs 15 000 V/16,7 Hz et de 49 Hz à 51 Hz pour les valeurs 25 000 V/50 Hz. Si la fréquence est hors de cette gamme, la performance des véhicules peut être réduite ou les commandes des véhicules peuvent être déconnectées.

Les effets des variations de fréquence peuvent être examinés par les opérateurs ferroviaires pour s'assurer de l'absence de conséquences nuisibles sur les systèmes de signalisation des trains.

Pour les autres fréquences de traction, les réglementations nationales s'appliquent.

5 Essais

Les essais spécifiés dans le Tableau 2 sont applicables en fonction du type de la ligne et du besoin.

Tableau 2 – Essais

Titre	Exigence technique	Méthodologie d'essai	Nature de l'essai
Tension sur la ligne	4.1	6.1.1 Matériel roulant	Mesure
		6.1.2 Installations fixes	Mesure
Fréquence	4.2	6.2 16,7 Hz seulement ^a	Suivi permanent
^a Cet essai est seulement nécessaire pour les réseaux 16,7 Hz qui ne sont pas alimentés par au moins un convertisseur tournant synchrone–synchrone (= connexion synchrone à un réseau interconnecté).			

NOTE L'Annexe C décrit les essais relatifs aux variations de la tension.

6 Méthodologie d'essai

6.1 Mesure de la tension de la ligne

6.1.1 Matériel roulant

Le matériel roulant doit être soumis aux essais conformément à l'Article 9 de l'IEC 61133:2006.

6.1.2 Installations fixes (voir Tableau 3)

Tableau 3 – Mesure de la tension de la ligne

Où	Quand	Comment	Conditions d'acceptation
Sous-station Au niveau de la barre omnibus, disjoncteurs de ligne ouverts, conditions d'exploitation normales. Pour les sous-stations en courant continu, il peut être nécessaire d'ajouter une petite charge résistive.	A la mise en service	- Enregistreur de tension pour la fréquence fondamentale ou - Enregistreurs de données numériques disposant d'une gamme de fréquences supérieure ou égale à 2 kHz, calcul des moyennes sur une durée de 1 s - Période de mesure: 1 min	Voir 4.1 point c)
Si un dispositif de mesure de la tension est installé le long de la ligne Mesure de chaque côté du dispositif, sans charge et en condition normale d'exploitation	A la mise en service et en exploitation	Sans charge ⇒ voir sous-station En exploitation ⇒ voir mesure ponctuelle	Sans charge ⇒ voir sous-station En exploitation ⇒ voir mesure ponctuelle
Mesure ponctuelle sur place, là où les problèmes se situent.	En réaction à des problèmes	- Enregistreur de tension pour la fréquence fondamentale, ou - Enregistreurs de données numériques disposant d'une gamme de fréquences supérieure ou égale à 2 kHz, calcul des moyennes sur une durée de 1 s - Période de mesure minimale 1 h, maximale 1 semaine	- Toutes les valeurs de tensions sont supérieures ou égales à $U_{\min 2}$. - Toutes les durées de tensions en dessous de $U_{\min 1}$ sont inférieures ou égales à la durée stipulée en 4.1 point a). - La valeur moyenne de la tension est comprise entre $U_{\min 1}$ et $U_{\max 1}$. - Toutes les durées de tensions supérieures à $U_{\max 1}$ sont inférieures ou égales à la durée stipulée en 4.1, point b). - Toutes les valeurs de tension sont inférieures ou égales à $U_{\max 2}$.

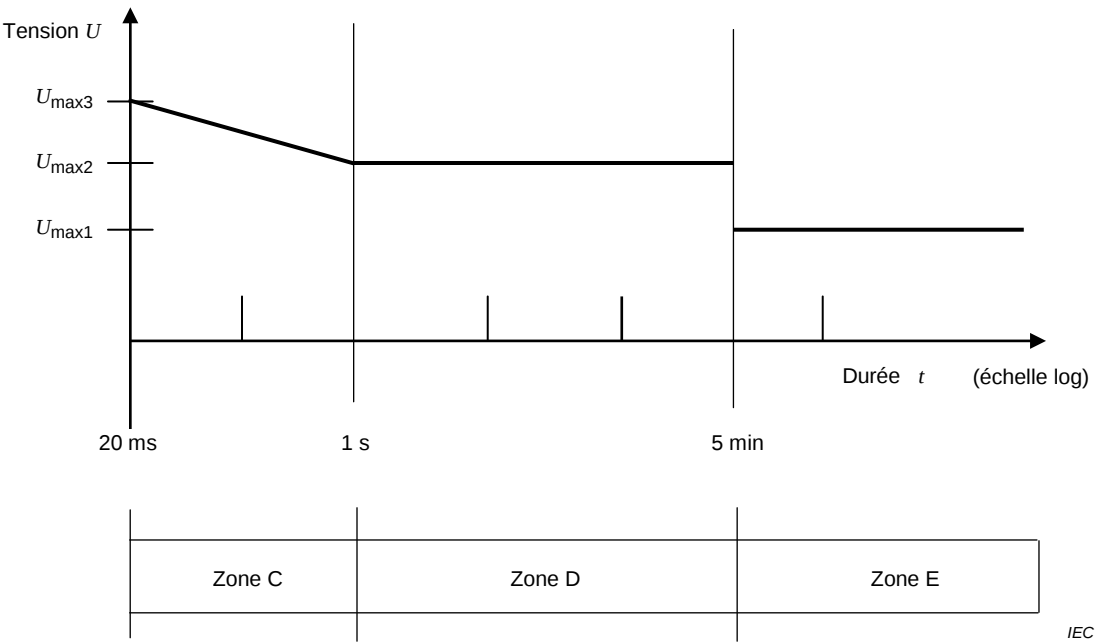
6.2 Mesure de la fréquence de la ligne (voir Tableau 4)

Tableau 4 – Mesure de la fréquence de la ligne

Où	Quand	Comment	Conditions d'acceptation
Suivi permanent Uniquement pour les réseaux qui ne sont pas tributaires du réseau triphasé Suivi permanent en ce qui concerne le contrôle de fréquence en circuit fermé dans les centrales électriques ou dans le centre de régulation du réseau	A la mise en service et en exploitation	Enregistrement de données numériques disposant d'une gamme de fréquences ≥ 2 kHz	Toutes les valeurs de fréquence se situent dans les gammes données en 4.2

Annexe A
(normative)

Valeur maximale de la tension U en fonction de la durée (voir Figure A.1)



Légende

Les zones A et B ne sont pas représentées dans la présente Figure, voir l'IEC 62497-2.

Zone C Surtension de longue durée

La variation en fonction du temps du rapport $U/U_{\max2}$ est identifiée par la relation:

$$U = U_{\max2} \times t^{-k}$$

où

t est le temps en secondes ($0,02 \text{ s} \leq t \leq 1 \text{ s}$);

k est le coefficient donné dans le Tableau A.1.

La représentation en coordonnées logarithmiques de cette équation est une droite. La pente est donnée par k .

Zone D Tension non permanente la plus élevée $U_{\max2}$

Zone E Tension permanente la plus élevée $U_{\max1}$

Figure A.1 – Valeur maximale de la tension U en fonction de la durée

Le Tableau A.1 donne les valeurs pour k , $U_{\max1}$, $U_{\max2}$ et $U_{\max3}$, alors que les valeurs entre $U_{\max2}$ et $U_{\max3}$ sont calculées à partir de la formule indiquée ci-dessus.

Tableau A.1 – Surtensions

Tension nominale U_n V	750	1 500	3 000	15 000	25 000
Coefficient k	0,061 1	0,067 6	0,067 3	0,076 7	0,074 1
$U_{\max 1}$	900	1 800	3 600	17 250	27 500
$U_{\max 2}$	1 000	1 950	3 900	18 000	29 000
$U_{\max 3}$	1 270	2 540	5 075	24 300	38 750

NOTE Concernant la limite $U_{\max 3}$ et la limite dans le temps liée de 20 ms, pour les réseaux en courant continu, il est reconnu que les coupures transitoires des disjoncteurs embarqués peuvent provoquer un dépassement de ces limites. D'après les expériences et les mesures effectuées, des valeurs allant jusqu'à $4 \times U_n$ et durant jusqu'à 100 ms ont été enregistrées. Ces valeurs peuvent principalement affecter l'équipement embarqué, comme par exemple les circuits d'entrée des convertisseurs. Le matériel de traction ne peut pas être protégé contre des surtensions de crête de ce type. Cette indication est donnée uniquement à titre d'information et ne doit pas être soumise à essai.

Annexe B (normative)

Valeurs alternatives pour les réseaux d'alimentation de traction

Paragraphe 4.1: Dans certains pays, les tensions des réseaux d'alimentation de traction indiquées dans le Tableau 1 sont utilisées avec d'autres tolérances ou sont modifiées, ou bien d'autres réseaux d'alimentation de traction sont utilisés. Le Tableau B.1 ci-dessous décrit ces variantes de réseaux d'alimentation de traction et leur lieu d'utilisation.

Tableau B.1 – Tensions mises en œuvre dans le monde et leurs limites admissibles en valeur et en durée

Système d'électrification	Tension non permanente la plus basse $U_{\min 2}$ V	Tension permanente la plus basse $U_{\min 1}$ V	Tension nominale U_n V	Tension permanente la plus élevée $U_{\max 1}$ V	Tension non permanente la plus élevée $U_{\max 2}$ V	Pays
Courant continu (valeurs moyennes)	400	400	600	720	800	Réseaux existants ^a
	360	360	600	720	800	Japon
	400 ^d	500	750	900	1 000	Royaume-Uni ^g
	450	450	750	900	1 000	Japon
	900	900	1 500	1 800	1 950	Japon
	2 000	2 000	3 000	3 600	3 800	Belgique
Courant alternatif (valeurs efficaces)	8 400	9 600	12 000	13 200	14 400	Etats-Unis ^b
	8 750	10 000	12 500	13 750	15 000	Etats-Unis ^c
	16 000	16 000	20 000 ^h	22 000	24 000	Japon
	20 000	22 500	25 000 ⁱ	30 000	32 000	Japon
	12 500 ^{d,f} /14 000 ^{d,e}	19 000	25 000	27 500	29 000	UK ^g
	17 500	20 000	25 000	27 500	30 000	Etats-Unis
	17 500	19 000	25 000	27 500	30 500	Chine
	17 500	19 000	25 000	27 500	29 000	UE
	35 000	40 000	50 000	55 000	60 000	Etats Unis et Afrique du Sud

^a Il convient que les réseaux de traction à courant continu futurs pour les tramways et les réseaux ferroviaires locaux soient conformes à une tension nominale du réseau de 750 V, 1 500 V ou 3 000 V.

^b 25 Hz, voir Tableau 2 de la norme IEEE 16.

^c 60 Hz, voir Tableau 2 de la norme IEEE 16.

^d Pour les réseaux existants, qui ne sont pas conformes à la présente norme, les valeurs de la tension non-permanente la plus basse $U_{\min 2}$, pour les charges de trafic normales mais avec des pannes des équipements d'alimentation hors des normes de conception, doivent être comme suit:

^e Tension minimale à laquelle un train doit rester opérationnel pendant une durée allant jusqu'à 10 min sans être endommagé;

^f Tension minimale à laquelle un train doit rester opérationnel pendant une durée allant jusqu'à 2 min sans être endommagé;

^g Pour les réseaux existants sans systèmes de réglage de la tension, il est admis de dépasser $U_{\max 1}$.

^h Peut être utilisé sur des lignes où les contraintes topographiques rendent difficiles l'utilisation d'un réseau d'alimentation de 25 000 V, par exemple gabarit réduit.

ⁱ Peut être utilisé sur des lignes où les contraintes topographiques telles que des zones de montagne et/ou des tunnels sous-marins augmentent la distance entre les sous-stations, et génèrent une densité de trafic plus importante.

Si l'utilisation d'une variante à 25 000 V est prévue, on doit alors noter que l'infrastructure et le matériel roulant adaptés aux autres normes pour 25 000 V ne sont pas directement applicables.

Paragraphe 4.2: **Chine**

La tolérance de 50 Hz doit être de $\pm 0,2$ Hz et lorsque la capacité du réseau est plus faible, la tolérance peut être de $\pm 0,5$ Hz à la place des valeurs indiquées en 4.2 pour les réseaux de traction électrique à 50 Hz.

Annexe C **(informative)**

Variations, interruptions et distorsions de la tension

C.1 Variations rapides de la tension

Les variations rapides de la tension dans les gammes indiquées dans le Tableau 1 sont un phénomène typique de l'électrification des chemins de fer dû aux variations de la charge de traction, de la configuration du réseau d'alimentation de la traction ou de la configuration des réseaux d'alimentation publics ou des chemins de fer.

C.2 Creux de tension sur la ligne de contact

Les creux de tension sont causés par des défauts sur la ligne de contact ou sur les réseaux de distribution publics.

La majorité des creux de tension présente une durée inférieure à 1 s et une amplitude inférieure à 50 % de U_n .

C.3 Interruptions brèves de la tension

En conditions normales d'exploitation, les interruptions brèves de la tension sont généralement causées par les déclenchements des disjoncteurs et les manœuvres de réenclenchement automatique après la détection de défauts. Les cycles de réenclenchement automatique sont décrits dans les normes d'appareillage (IEC 61992 et IEC 62505).

Des informations sont également données dans l'IEC 62313.

L'occurrence annuelle des interruptions courtes de la tension d'alimentation se situe entre quelques dizaines et plusieurs centaines. La durée d'environ 70 % des interruptions brèves peut être inférieure à 10 s.

C.4 Interruptions longues de la tension

Les interruptions accidentelles sont généralement causées par des événements extérieurs ou des actions qui ne peuvent pas être empêchées par le gérant de l'infrastructure.

Il n'est pas possible d'indiquer des valeurs typiques pour la durée des interruptions longues.

En conditions normales d'exploitation, la fréquence annuelle des interruptions de la tension d'une durée de plus de 3 min peut être inférieure à quelques unités.

Pour les interruptions programmées, aucune valeur indicative n'est donnée, car elles sont annoncées à l'avance.

C.5 Distorsion de la tension (courant alternatif et courant continu)

La distorsion de la tension provient des charges de traction et des charges auxiliaires, des convertisseurs de sous-station et du réseau public de distribution.

Ceci génère des harmoniques de haute et basse fréquences qui peuvent inclure, uniquement en courant alternatif, un décalage (transitoire) et des passages par zéro supplémentaires.

C.6 Essais

C.6.1 Généralités

Les paramètres concernant les variations de tension sont établis aux Articles C.1, C.2, C.3, et C.4 (technique). Les exigences d'essais et les conditions d'acceptation sont détaillées ci-après.

C.6.2 Matériel roulant

Les exigences concernant les essais du matériel roulant à l'achèvement de la construction et avant la mise en service sont décrites dans l'IEC 61133:2006, à l'Article 9. Voir également les normes de produits.

C.6.3 Installations fixes

Tableau C.1 – Mesure des variations et des interruptions des tensions

Où	Quand	Comment
Mesure ponctuelle Sur place, là où se situent les problèmes	En réaction à des problèmes	- Les Articles C.1, C.2, C.3 et C.4 (technique) n'exigent aucun essai spécifique de type ou individuel de série. Cependant, après la mise en service, si un problème relatif à la qualité de la tension est remarqué, il est suggéré ce qui suit: il convient que la tension soit enregistrée sur une période représentative après la mise en œuvre du service normal complet. Il convient que les résultats soient analysés comme suit. - Variations rapides de la tension et creux de tension à la ligne de contact. Saisir les tensions inférieures à $U_{\min 2}$ et analyser les données pour déterminer le niveau de tension en pourcentage de U_n et la durée en millisecondes. Compiler les cas les plus défavorables en termes de niveaux de tension la plus basse avec la durée correspondante. Identifier tout défaut ou toute manœuvre d'appareillage sur le réseau d'électrification ferroviaire ou sur le réseau public de distribution au moment des variations enregistrées sur le tableau. - Interruptions brève et longue de la tension Saisir toutes les interruptions de la tension et enregistrer la durée de chaque interruption. Cataloguer les interruptions de tension en les ordonnant dans les gammes de durée suivantes: – < 10 s – 10 s – 1 min – 1 min – 3 min – > 3 min Indiquer le temps pour chaque interruption de durée supérieure à 3 min et ne pas prendre en compte les interruptions planifiées à l'avance.

Bibliographie

IEC 60038, *Tensions normales de la CEI*

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

IEC 60913, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Lignes aériennes de contact pour la traction électrique*

IEC 61992 (toutes les parties), *Applications ferroviaires – Installations fixes – Appareillage à courant continu*

IEC 62313, *Applications ferroviaires – Alimentation électrique et matériel roulant – Critères techniques pour la coordination entre le système d'alimentation (sous-station) et le matériel roulant*

IEC 62505 (toutes les parties), *Applications ferroviaires – Installations fixes – Exigences particulières pour appareillage à courant alternatif*

EN 50123, toutes les parties, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Appareillage à courant continu*

EN 50124-1, *Applications ferroviaires – Coordination de l'isolement – Partie 1: Prescriptions fondamentales – Distances d'isolement dans l'air et lignes de fuite pour tout matériel électrique et électronique*

EN 50124-2, *Applications ferroviaires – Coordination de l'isolement – Partie 2: Surtensions et protections associées*

EN 50152, toutes les parties, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Exigences particulières pour appareillage à courant alternatif*

EN 50160:1999, *Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux publics de distribution*

EN 50163:2004, *Applications ferroviaires Tensions d'alimentation des réseaux de traction*

EN 50388, *Applications ferroviaires – Alimentation électrique et matériel roulant – Critères techniques pour la coordination entre le système d'alimentation (sous-station) et le matériel roulant pour réaliser l'interopérabilité*

UIC 550-OR, *Installations pour l'alimentation en énergie électrique du matériel à voyageurs*

UIC 550-2-OR, *Installations pour l'alimentation en énergie des voitures – Essais de types*

IEEE Std 16, 2004, *IEEE Standard for Electrical and Electronic Control Apparatus on Rail Vehicles*

Spécification technique d'interopérabilité, STI relative au sous-système "énergie", du système ferroviaire conventionnel et à grande vitesse dans l'Union Européenne

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