

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62313:2009



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

IEC Central Office  
3, rue de Varembe  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland  
Email: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)  
Web: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

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

### About IEC publications

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

- Catalogue of IEC publications: [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

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

- IEC Just Published: [www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)

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

- Electropedia: [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: [www.iec.ch/webstore/custserv](http://www.iec.ch/webstore/custserv)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch)

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

### 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.

- Catalogue des publications de la CEI: [www.iec.ch/searchpub/cur\\_fut-f.htm](http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm)

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: [www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)

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

- Electropedia: [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: [www.iec.ch/webstore/custserv/custserv\\_entry-f.htm](http://www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch)

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

---

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

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

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX



ICS 45.060

ISBN 978-2-88910-667-7

## CONTENTS

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                                   | 5  |
| 1 Scope.....                                                                                    | 7  |
| 2 Normative references .....                                                                    | 7  |
| 3 Terms and definitions .....                                                                   | 8  |
| 4 Periods over which parameters can be averaged or integrated .....                             | 11 |
| 5 Different source sections .....                                                               | 11 |
| 5.1 AC phase separation sections .....                                                          | 11 |
| 5.2 System separation sections .....                                                            | 12 |
| 5.3 Acceptance criteria.....                                                                    | 13 |
| 6 Power factor of a train .....                                                                 | 13 |
| 6.1 General.....                                                                                | 13 |
| 6.2 Inductive power factor .....                                                                | 13 |
| 6.3 Capacitive power factor .....                                                               | 14 |
| 7 Train current limitation.....                                                                 | 14 |
| 7.1 Maximum train current.....                                                                  | 14 |
| 7.2 Automatic regulation.....                                                                   | 15 |
| 7.3 Power or current limitation device.....                                                     | 15 |
| 8 Quality index of the power supply .....                                                       | 16 |
| 8.1 General.....                                                                                | 16 |
| 8.2 Description .....                                                                           | 16 |
| 8.3 Values for $U_{\text{mean useful}}$ at the pantograph .....                                 | 17 |
| 8.4 Relation between $U_{\text{mean useful}}$ and $U_{\text{min1}}$ .....                       | 17 |
| 8.5 Acceptance criteria.....                                                                    | 17 |
| 9 Type of line and electrification system .....                                                 | 17 |
| 10 Harmonics and dynamic effects .....                                                          | 17 |
| 10.1 General.....                                                                               | 17 |
| 10.2 Acceptance procedure for new elements .....                                                | 19 |
| 10.3 Compatibility study.....                                                                   | 19 |
| 10.4 Methodology and acceptance criteria .....                                                  | 23 |
| 11 Coordination of protection .....                                                             | 23 |
| 11.1 General.....                                                                               | 23 |
| 11.2 Protection toward short-circuits .....                                                     | 23 |
| 11.3 Coordination of the circuit breakers on loss of line voltage and re-<br>energisation ..... | 24 |
| 11.4 D.C. electrification systems: transient current during closure.....                        | 24 |
| 11.5 Acceptance criteria.....                                                                   | 24 |
| 12 Regenerative braking .....                                                                   | 25 |
| 12.1 General conditions on the use of regenerative braking .....                                | 25 |
| 12.1.1 Traction unit conditions .....                                                           | 25 |
| 12.1.2 Power supply system conditions .....                                                     | 25 |
| 12.2 Acceptance criteria.....                                                                   | 25 |
| 13 Tests .....                                                                                  | 25 |
| 14 Test methodology .....                                                                       | 26 |
| 14.1 Neutral sections .....                                                                     | 26 |
| 14.1.1 Tests for traction unit.....                                                             | 26 |

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 14.1.2 Tests for infrastructure .....                                                                          | 26 |
| 14.2 Power factor .....                                                                                        | 26 |
| 14.3 Train current limitation .....                                                                            | 27 |
| 14.4 Quality index of the power supply .....                                                                   | 27 |
| 14.4.1 $U_{\text{mean useful}}$ (zone) .....                                                                   | 27 |
| 14.4.2 $U_{\text{mean useful}}$ (train) .....                                                                  | 27 |
| 14.4.3 Relation between $U_{\text{mean useful}}$ and $U_{\text{min1}}$ .....                                   | 28 |
| 14.5 Harmonics and dynamic effects .....                                                                       | 28 |
| 14.6 Coordination of protections .....                                                                         | 28 |
| 14.6.1 Protection toward short-circuits and action on circuit-breakers .....                                   | 28 |
| 14.6.2 Coordination of the circuit breakers on loss of line voltage and re-energisation .....                  | 28 |
| 14.6.3 DC traction units: Transient current during closure .....                                               | 29 |
| 14.7 Regenerative braking .....                                                                                | 29 |
| 14.7.1 Traction unit .....                                                                                     | 29 |
| 14.7.2 Substation .....                                                                                        | 29 |
| Annex A (informative) Integration periods over which parameters can be averaged .....                          | 30 |
| Annex B (informative) Selection criteria determining the voltage at the pantograph for high speed trains ..... | 31 |
| Annex C (informative) Investigation of harmonic characteristics and related overvoltages .....                 | 34 |
| Annex D (informative) Data related to the compatibility study of harmonics and dynamic effects .....           | 36 |
| Annex E (informative) Types of different source sections .....                                                 | 42 |
| Annex F (informative) Maximum allowable train current .....                                                    | 44 |
| Annex G (informative) Maximum contact line – rail short-circuit level as European practise .....               | 45 |
| Annex H (informative) $di/dt$ when closure of traction unit circuit breaker .....                              | 46 |
| Annex I (informative) Special national conditions .....                                                        | 47 |
| Bibliography .....                                                                                             | 48 |
| Figure 1 – Maximum train current against voltage .....                                                         | 15 |
| Figure 2 – Procedure for compatibility study of harmonics and dynamic effects .....                            | 20 |
| Figure E.1 – Insulator section .....                                                                           | 42 |
| Figure E.2 – Neutral section with insulators .....                                                             | 42 |
| Figure E.3 – Neutral section with insulated overlaps .....                                                     | 42 |
| Figure E.4 – Split neutral section with an insulator and insulated overlaps .....                              | 42 |
| Figure E.5 – Split neutral section with three insulated overlaps .....                                         | 43 |
| Figure E.6 – Changeover section .....                                                                          | 43 |
| Figure E.7 – Example of system separation section from AC to DC .....                                          | 43 |
| Figure E.8 – Example of system separation section from DC to AC .....                                          | 43 |
| Table 1 – Total inductive power factor $\lambda$ of a train .....                                              | 14 |
| Table 2 – Value of factor $a$ (informative) .....                                                              | 15 |
| Table 3 – Minimum $U_{\text{mean useful}}$ at pantograph (V) .....                                             | 17 |
| Table 4 – Description of steps .....                                                                           | 21 |

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Table 5 – Action on circuit-breakers at an internal fault within a traction unit.....                       | 23 |
| Table 6 – Tests.....                                                                                        | 26 |
| Table A.1 – Integration period.....                                                                         | 30 |
| Table D.1 – Characterization of a.c. electrified lines .....                                                | 36 |
| Table D.2 – Characterisation of d.c. electrified lines .....                                                | 38 |
| Table D.3 – Characterisation of one a.c. train with respect to impedances, harmonics<br>and stability ..... | 39 |
| Table D.4 – Characterisation of one d.c. train with respect to impedances, harmonics<br>and stability ..... | 41 |
| Table F.1 – Maximum allowable train current (A) .....                                                       | 44 |
| Table G.1 – Maximum contact line – rail short-circuit level as European practise .....                      | 45 |
| Table H.1 – di/dt when closure of traction unit circuit breaker .....                                       | 46 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62313:2009

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RAILWAY APPLICATIONS –  
POWER SUPPLY AND ROLLING STOCK –  
TECHNICAL CRITERIA FOR THE COORDINATION BETWEEN  
POWER SUPPLY (SUBSTATION) AND ROLLING STOCK**

## 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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 62313 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways. This standard is based on EN 50388 (2005).

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

| FDIS        | Report on voting |
|-------------|------------------|
| 9/1225/FDIS | 9/1258/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 maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62313:2009

# **RAILWAY APPLICATIONS – POWER SUPPLY AND ROLLING STOCK – TECHNICAL CRITERIA FOR THE COORDINATION BETWEEN POWER SUPPLY (SUBSTATION) AND ROLLING STOCK**

## **1 Scope**

This International Standard is intended to be used to set up the requirements for the acceptance of rolling stock on infrastructure in the field of:

- co-ordination of protection principles between power supply and traction units, especially fault discrimination for short-circuits;
- co-ordination of installed power on the line and power demand of the trains;
- co-ordination of traction unit regenerative braking and power supply receptivity;
- co-ordination of harmonic behaviour.

This standard deals with the definition and quality requirements of the power supply at the interface between traction unit and fixed installations.

The standard specifies the interface between rolling stock and electrical fixed installations for traction, in the frame "supply system". The interaction between pantograph and overhead line and the interaction with subsystem "control-command" (especially signalling) are not dealt with in the standard.

Requirements are given for the following categories of line:

- high speed lines,
- conventional lines.

For classical lines, values, if any, are given for the existing European networks. A set of values is also specified for the future network, which is named "target" network.

The following electric traction systems are concerned:

- railways;
- guided mass transport systems that are integrated with the railways;
- material transport systems that are integrated with the railways.

This standard does not apply retrospectively to rolling stock already accepted by infrastructure managers. However, on new infrastructure, existing rolling stock may be accepted by the infrastructure manager, provided there is an agreement.

Information is given to the train operating companies on electrification parameters to enable them to confirm after consultation with the rolling stock manufacturers that there will be no consequential disturbance on the electrification system.

## **2 Normative references**

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

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

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

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

IEC 61992-1, *Railway applications – Fixed installations – D.C. switchgear – Part 1: General*

ISO 3166-1:2006, *Codes for the representation of names of countries and their subdivisions – Part 1: Country codes*

### 3 Terms and definitions

For the purposes of this international Standard, the following terms and definitions apply.

#### 3.1

##### **high speed line**

specially built or upgraded line equipped for speeds generally equal to or greater than 200 km/h

#### 3.2

##### **conventional line**

line on which conventional freight and passenger trains run. It is not specially built for high speed as defined in 3.1.

It includes:

- information on European networks named with their national country code (see ISO 3166-1);
- future target network named "target", see 3.25

#### 3.3

##### **type of line**

classification of lines as a function of the parameters described in 3.4 to 3.6

#### 3.4

##### **train power at the pantograph**

active power of the train taking into account power for traction, regeneration and auxiliary

#### 3.5

##### **minimum possible headway**

interval at which trains can run as allowed by the signalling system

#### 3.6

##### **maximum line speed**

speed for which the line was approved for operation

#### 3.7

##### **contact line**

conductor system for supplying electric energy to vehicles through current-collecting equipment

[IEV 811-33-01]

**3.8****overhead contact line**

contact line placed above (or beside) the upper limit of the vehicle gauge and supplying vehicles with electric energy through roof-mounted current collection equipment

[IEV 811-33-02]

**3.9****(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

**3.10****total power factor  $\lambda$** 

$$\lambda = \frac{\text{active power}}{\text{apparent power}}$$

**3.11****deformation factor  $v$** 

$$v = \frac{\lambda}{\cos \varphi}$$

**3.12****power factor of the fundamental wave**

$$\cos \varphi = \frac{\text{active power of the fundamental wave}}{\text{apparent power of the fundamental wave}}$$

NOTE This is also the displacement factor  $\cos \varphi$ .

**3.13****different source section**

a section of a contact line to prevent successive electrical sections, differing in voltage, phase or frequency being connected together by the passage of current collectors

- **neutral section**  
section of a contact line provided with a sectioning point at each end to prevent successive electrical sections, differing in voltage, phase or frequency being connected together by the passage of current collectors
- **[IEV 811-36-16]  
insulator section**  
section of a contact line to prevent successive electrical sections, differing in voltage, phase or frequency being connected together by the passage of current collectors, formed by an insulator inserted in a continuous run of contact line
- **changeover section**  
section of a contact line provided with a section in the middle to enable energization from either power supply source at each end by switching

**3.14****vehicle**

general term denoting any single item of rolling stock, e.g. a locomotive, a coach or a wagon

[IEV 811-02-02]

### 3.15

#### **traction unit**

general term covering a locomotive, motor coach or train unit

[IEV 811-02-04]

### 3.16

#### **rolling stock**

general term covering all vehicles with or without motors

[IEV 811-02-01]

### 3.17

#### **train**

any combination of rolling stock coupled together. It includes banking locomotives

### 3.18

#### **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 design rules.

NOTE Standard rules may vary depending on the infrastructure manager's policy.

### 3.19

#### **abnormal operating conditions**

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

NOTE Under these conditions, traffic may not operate to the design timetable.

### 3.20

#### **mean useful voltage at the pantograph**

$U_{\text{mean useful}}$

#### 3.20.1

$U_{\text{mean useful}}$  (zone)

voltage giving an indication of the quality of the power supply in a geographic zone during the peak traffic period in the timetable

#### 3.20.2

$U_{\text{mean useful}}$  (train)

voltage identifying the dimensioning train and enables the effect on its performance to be quantified

### 3.21

#### **dimensioning train**

train with the lowest mean useful voltage

### 3.22

#### **register of infrastructure**

a single document which compiles, for each section of line, the characteristics of the lines concerned for all subsystems that include fixed equipment.

This “register of infrastructure” should be drawn up by the infrastructure manager or its authorised representative.

**3.23****infrastructure manager**

any body or undertaking that is responsible in particular for establishing and maintaining railway infrastructure. This may also include the management of infrastructure control and safety systems. The functions of the infrastructure manager on a network or part of a network may be allocated to different bodies or undertakings.

**3.24****new element**

generally, any new, rebuilt or modified (hardware or software) traction-unit or power supply component having a possible influence on the harmonic behaviour of the power supply system.

This new element will be integrated in an existing power supply network with traction units, for example for fixed installation side:

- transformer;
- HV cable;
- filters;
- converter

**3.25****target network**

network whose design allows the requirements of European interoperability and should avoid later costly investments

**4 Periods over which parameters can be averaged or integrated**

This clause is informative and refers to Annex A.

The train operators or infrastructure managers use parameters for:

- their dimensioning computations;
- protection measures;
- planning;
- etc.

These are effective only if they are averaged over precisely defined time spans.

Annex A gives, for information, the periods over which those parameters should be averaged.

**5 Different source sections**

There are several types of different source sections, such as the insulator section, the neutral section and the changeover section, as shown in Annex E.

**5.1 AC phase separation sections**

There are four possibilities for the train to run through phase separation sections:

- a) with traction/regenerative current carried;
- b) with auxiliary load current carried;
- c) with no-load current of the transformer carried;
- d) with no power consumption.

The choice between a) to d) shall be made by the infrastructure manager.

The requirements for the design of the infrastructure and rolling stock are:

a) Traction/regenerative current carried

If the phase separation sections are to be negotiated with traction/regenerative current carried, changeover sections shall be installed in the infrastructure. See Clause E.4 for the information on the changeover section.

Changeover operation of supplied power for the changeover section shall be performed automatically in the infrastructure.

Trains shall allow short interruptions of supply voltage during changeover operations without causing any damages or failures.

b) Auxiliary load current carried

If the phase separation sections are to be negotiated with auxiliary load current carried, sections and pantographs shall be capable of breaking auxiliary load current, and also making and carrying inrush current of transformers.

Traction/regenerative current shall be brought to zero when entering the phase separation section. Automatic operation is preferred; however, manual on board operation is also permitted.

Sections shall have enough length to avoid the two phases bridged by the arc of traction/regenerative current in case traction/regenerative current fails to become zero.

See Clause E.1 for the information on the insulator section.

c) No-load current of transformer carried

If the phase separation sections are to be negotiated with no-load current of transformer carried, sections and pantographs shall be capable of making and carrying inrush current of transformers.

Both traction/regenerative current and auxiliary load current shall be brought to zero when entering the phase separation section. Automatic operation is preferred; however, manual on board operation is also permitted.

Sections shall have enough length to avoid the two phases bridged by the arc of traction/regenerative current in case traction/regenerative current fails to become zero.

See Clause E.1 for the information on the insulator section.

d) No power consumption

If the phase separation sections are to be negotiated with power consumption of the train brought to zero, power consumption shall be brought to zero when entering the phase separation section.

For high-speed lines, this shall be done automatically.

For conventional lines, automatic operation is preferred; however, manual on board operation is also permitted.

Lowering of the pantographs is not necessary.

See Clauses E.2 and E.3 for the information on the suitable sections.

The infrastructure manager shall provide adequate means to allow a train that is gapped underneath the phase separation to be restarted. Such means, however, are not necessarily required for the insulator section.

## 5.2 System separation sections

The trains shall be able to move from one energy supply system to an adjacent one which uses a different energy supply without bridging the two systems. The necessary actions (opening of the main circuit-breaker, lowering of the pantographs) depend on the type of both supply systems as well as on the arrangement of pantographs on trains and the running speed.

There are two possibilities for the train to run through system separation sections:

- a) with pantograph raised and touching the contact wire;
- b) with pantograph lowered and not touching the contact wire.

The choice between a) and b) shall be made by the infrastructure manager.

The requirements for the design of the infrastructure and rolling stock are:

a) Pantograph raised

If the system separation sections are negotiated with pantographs raised to the contact wire, provisions shall be taken in the infrastructure to avoid bridging of both adjacent power supply systems when the opening of the on-board circuit-breaker(s) fails, e.g. earthing of neutral section.

For High Speed lines, on rolling stock, devices shall open automatically the circuit-breaker before reaching the separation section and recognise automatically the voltage of the new power supply system at the pantograph in order to switch the corresponding circuits.

For conventional lines, these requirements for High Speed lines may be applied.

b) Pantograph lowered

If the system separation sections are negotiated with pantographs lowered the following conditions apply:

The design of separation section between differing energy supply systems shall ensure that, in case of a pantograph unintentionally applied to the contact line, bridging of two power supply systems is avoided and switching off both supply sections is triggered immediately. Triggering of a short-circuit ensures the operation of insulated sections.

- For High Speed lines, at supply system separations which require a lowering of the pantograph, the pantograph shall be lowered without the driver's intervention, triggered by control signals.
- For conventional lines, these requirements for High Speed lines may be applied.

Examples of the section length to avoid bridging by arcs are given in Clause E.4.

### 5.3 Acceptance criteria

Infrastructure, traction units and control command designers shall comply with the requirements of 5.1 and 5.2.

## 6 Power factor of a train

### 6.1 General

The higher the power factor of a train, the better the power supply performance, therefore the rules below apply.

Capacitive or inductive power from a train can be utilised to change the overhead contact line voltage.

### 6.2 Inductive power factor

This subclause deals only with inductive power factor and power consumption over the range of voltages from  $U_{\min 1}$  to  $U_{\max 1}$  defined in IEC 60850.

Table 1 gives the total inductive power factor  $\lambda$  of a train. For the calculation of  $\lambda$ , only the fundamental of the voltage at pantograph is taken into account.

**Table 1 – Total inductive power factor  $\lambda$  of a train**

| Instantaneous<br>train power P at the pantograph<br>MW | High speed lines         |                          | Conventional lines         |
|--------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
|                                                        | High-speed               | Upgraded                 | Target <sup>c</sup>        |
| $P > 6$                                                | $\geq 0,95$ <sup>d</sup> | $\geq 0,95$ <sup>d</sup> | $\geq 0,95$ <sup>a d</sup> |
| $2 < P \leq 6$                                         | $\geq 0,93$ <sup>d</sup> | $\geq 0,93$ <sup>d</sup> | $\geq 0,93$ <sup>a d</sup> |
| $0 \leq P \leq 2$                                      | b                        | b                        | b                          |

Where a train or single vehicle is stationary, with the pantograph in contact with the catenary, traction power off and auxiliaries in service, the total resulting power factor shall not be less than 0,8 if the active power from the overhead contact line is greater than 200 kW.

The calculation of overall average  $\lambda$  for a train journey, including the stops, is taken from the active energy  $W_P$  (MWh) and reactive energy  $W_Q$  (MVarh) given by a computer simulation of a train journey or metered on an actual train.

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{W_Q}{W_P}\right)^2}}$$

<sup>a</sup> These values are recommended.

<sup>b</sup> In order to control the total power factor of the auxiliary load of a train during the coasting phases, the overall average  $\lambda$  (traction and auxiliaries) defined by simulation and/or measurement shall be higher than 0,85 over a complete timetable journey.

<sup>c</sup> The infrastructure manager may impose conditions, for example: economic, operating, power limitation for acceptance of interoperable trains having power factors below the target value.

<sup>d</sup> It is expected that these values may be improved, respectively 0,98 and 0,95.

During regeneration, the inductive power factor is allowed to decrease freely in order to keep voltage within limits.

### 6.3 Capacitive power factor

During traction mode, capacitive power factor is allowed in order to keep voltage within limits.

- Within the range of voltage from  $U_{\min 1}$  to  $U_{\max 1}$  defined in IEC 60850, capacitive power factors are not limited.
- Within the range of voltage from  $U_{\max 1}$  to  $U_{\max 2}$  defined in IEC 60850, a train shall not behave like a capacitor.

NOTE Capacitive power factors could lead to overvoltages and/or dynamic effects and should be treated according to Clause 10.

## 7 Train current limitation

### 7.1 Maximum train current

The maximum allowable train current including auxiliary shall be set by the infrastructure manager.

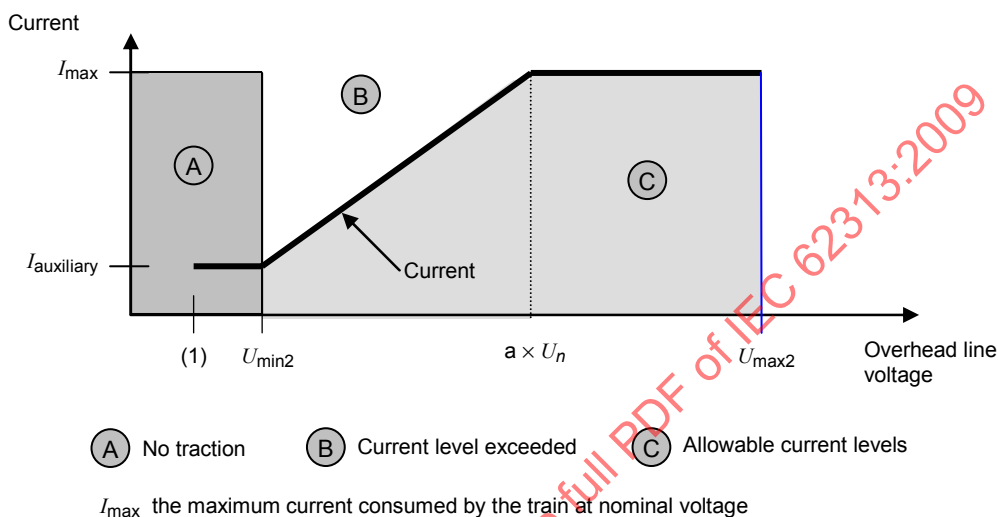
Table F.1 in Annex F indicates, for information the maximum allowable train current including auxiliary. The levels apply both in tractive and regenerative modes.

NOTE In order to prevent the energy subsystem from over sizing, the values given in Table F.1 are given for rolling stock and not for the design of the energy sub-system for continuous load.

## 7.2 Automatic regulation

In order to facilitate stable operation on weak power supply networks or in abnormal operating conditions, if requested by the infrastructure manager, trains shall be equipped with an automatic device e.g.: part of the propulsion control system software, which adapts the level of the power consumption depending on overhead line voltage in steady state condition. Figure 1 gives the maximum allowed train current as a function of the overhead contact line voltage.

This figure does not apply in regenerative braking mode.



The value of the knee point factor “a” should be given based on an agreement among related organizations.

Table 2 is given only for information.

**Table 2 – Value of factor a (informative)**

| Power supply system | AC<br>25 000 V<br>50 Hz | AC<br>15 000 V<br>16,7 Hz | DC<br>3 000 V | DC<br>1 500 V | DC<br>750 V |
|---------------------|-------------------------|---------------------------|---------------|---------------|-------------|
| Value of a          | 0,9                     | 0,95                      | 0,9           | 0,9           | 0,8         |

## 7.3 Power or current limitation device

In order to allow a powerful traction unit to operate everywhere, on weak or electrically well supplied lines, and if requested by the infrastructure manager, it is necessary to install on board a current or power selector which will limit the power demand of the train to the electrical capacity of the line. This can be made through a software function within the control electronics.

The infrastructure manager shall declare the required limitation of each line in a “register of infrastructure”.

This setting shall be carried out automatically.

However, if the infrastructure has not been equipped for automatic power selection, it can be done manually by the drivers.

## 8 Quality index of the power supply

### 8.1 General

The aim of the dimensioning study, as set out in Annex B, is to define the characteristics of fixed installations.

These installations should allow the most severe conditions, as specified in the design timetable, to be satisfied through:

- the densest operating period in the timetable, corresponding to peak traffic;
- the characteristics of the different types of train involved, taking account of the selected traction units.

The quality index  $U_{\text{mean useful}}$  is calculated by simulation and can be verified by ad hoc measurements on a critical train.

### 8.2 Description

Mean useful voltage is calculated by computer simulation of a geographic zone (zone under study) which takes account of all trains scheduled to pass through the zone in an appropriate period of time corresponding to the peak traffic period in the timetable. This given period of time shall be sufficient to take account of the highest load on each electrical section in the geographic zone.

Account shall be taken of the electrical characteristics of the infrastructure and each different type of train in the simulation.

The fundamental voltage at the pantograph of each train in the geographic zone is analysed at each simulation time step. For a.c. systems, the r.m.s. values of the fundamental voltage is used. For d.c. systems, the mean voltage is used. This time step in the simulation shall be short enough to take into account all events in the timetable.

The voltage values from the simulation are used to study:

#### a) $U_{\text{mean useful}}$ (zone)

This is the mean value of all voltages analysed in the simulation and gives an indication of the quality of the power supply for the entire zone.

All trains in the geographic zone, over the peak traffic period considered, are included in this analysis whether they are in traction mode or not (stationary, traction, regeneration, coasting) at each simulation time step.

#### b) $U_{\text{mean useful}}$ (train)

This is the mean value of all voltages in the same simulation as the geographic zone study but only analysing the voltages for one particular train at each time step where the train is taking traction load (ignoring steps when the trains is stationary, regenerating or coasting).

The mean value of these voltages gives a check on the performance of each train in the simulation and as a result, identifies the dimensioning train, the train whose ability to accelerate is most constrained by weak voltage.

### 8.3 Values for $U_{\text{mean useful}}$ at the pantograph

The minimum values for mean useful voltage at the pantograph under normal operating conditions are given in Table 3.

**Table 3 – Minimum  $U_{\text{mean useful}}$  at pantograph (V)**

| Power supply system a)                                                     | High Speed lines | Conventional lines |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------|
|                                                                            | Zone and train   | Zone and train     |
| a.c. 25 000 V 50 Hz                                                        | 22 500           | 22 000             |
| a.c. 15 000 V 16,7 Hz                                                      | 14 200           | 13 500             |
| d.c. 3 000 V                                                               | 2 800            | 2 700              |
| d.c. 1 500 V                                                               | 1 300            | 1 300              |
| d.c. 750 V                                                                 | NA               | 675                |
| NA: not applicable.                                                        |                  |                    |
| a) No values are known for other power supply systems quoted in IEC 60850. |                  |                    |

### 8.4 Relation between $U_{\text{mean useful}}$ and $U_{\text{min1}}$

The power supply shall be electrically designed in such a way that the simulations of  $U_{\text{mean useful}}$  under normal operating conditions, never generate momentary voltage values (r.m.s., mean values) at the pantograph of any train lower than the limit  $U_{\text{min1}}$  for traffic corresponding to the type of line concerned (see Clause 9).

### 8.5 Acceptance criteria

The electrification system design shall guarantee the ability of the power supply to achieve the specified performance in 8.3 and 8.4. Therefore, it shall be considered acceptable if the requirements of 8.3 and 8.4 are fulfilled. It is the choice of the infrastructure manager to wish to have this study made or not.

## 9 Type of line and electrification system

The infrastructure manager shall declare the route parameters in terms of:

- line speed;
- minimum possible headway;
- maximum train power.

## 10 Harmonics and dynamic effects

### 10.1 General

The harmonic characteristic of the power supply and the rolling stock in the railway system determines overvoltages in the power supply circuit (overhead contact line and return circuit) and stability in this system. In order to achieve electrical system compatibility under steady state and dynamic conditions, harmonic overvoltages shall be limited below critical values. With protection devices installed, overvoltages cause an interruption of normal operation and are more critical from the operation point of view than from safety and security aspects.

The following physical effects cause overvoltages:

- a) Overvoltages caused by system instability

Modern railway vehicles with inverter propulsion and auxiliary of systems as well as static-tie frequency converters are generally active devices which are capable of transferring energy from one frequency component in the spectrum to another. Their transfer behaviour is largely determined by the inverter controllers as well as by the passive elements.

Controllers have to be tuned or the impedance behaviour of the passive components (power supply network, vehicles) shall be optimised in such a way that for all operating conditions a stable behaviour results. In a non-stable system, physical values such as voltages or currents, either tend towards infinity and cause a shutdown in reality. In non-linear systems, they can also continuously (steady state) oscillate on one or several frequencies.

Stability questions are always related to feedback loops in a system, especially through one or several controllers of one or several electrical subsystems. There is no explicit excitation source, necessary to generate oscillation. This has to be distinguished from case b) described below, where both an excitation source and a transmission/amplification path exist.

Normally, the oscillations caused by instabilities are in the frequency range of up to about 500 Hz which is the bandwidth of the relevant controllers.

Low frequency oscillations below and around supply frequency strongly involve non-linear characteristics of modern converter systems. Higher frequency instabilities can be investigated with linear mode.

#### b) Overvoltages caused by harmonics

Static inverters, both phase angle controlled and forced commutated ones, installed on rolling stock or on fixed installations power supplies produce current and voltage harmonics which can be represented by current or voltage sources in a simplified manner. Every type of converter generates a typical current or voltage spectrum. The converter, combined with passive elements such as transformers and filters, shows a source behaviour and a typical internal impedance.

All power supply systems have resonances, due to the resonances of transmission lines and cables, some also due to passive filter components. This leads to an amplification of harmonics injected by converters into the power supply system. An amplification or partial suppression occurs both at the location of the converter, due to the line impedance seen from the converter, and between the converter's location and other locations in the network. It consists in a transfer behaviour of the power supply itself.

An amplification of strong harmonics may lead to significant overvoltages, either at the vehicle's location or at a completely different location in the network.

The supply system has resonance peaks due to its distributed parameters - inductance and capacitance per unit of length. The resonance behaviour is changed by the presence of traction units. These resonance peaks can cause huge resonant currents and voltages. The ratio between maximum and minimum current recorded along the overhead contact line at specific resonance frequencies could exceed 100. For four-quadrant converter vehicles the harmonic currents at the pantograph of a vehicle can be increased about 3 times due to resonance phenomena in the power supply network.

#### c) Other phenomena

Further technical phenomena, which have to be considered for the electrical systems compatibility between power supply and rolling stock, are:

- multiple zero-crossings;
- voltage spikes and sags, transients;
- variations of the phase of supply voltage;
- low frequency oscillations.

From conducted interference point of view, the following effects can become relevant:

- wheel slip/slide;
- auxiliary load;

- dynamic events;
- harmonics from the auxiliary converter;
- modulations product from different converters;
- ice or frost.

## 10.2 Acceptance procedure for new elements

An acceptance procedure shall be carried out for introduction of any new element , as defined in 3.24.

Compatibility between existing traction units and existing power supply, and new element(s) shall be checked towards the phenomena described in 10.1.

Involved bodies or parties are:

- the owner(s) of existing infrastructure or infrastructure manager;
- the operator(s) of existing traffic;
- the purchaser/owner of the new traction unit(s) or infrastructure equipment;
- the manufacturer supplier of the new traction unit(s) or infrastructure equipment.

A general specification for rolling stock or power supply, which avoids overvoltages in any situation, might be very conservative and impossible to fulfil. Therefore, a process as described in 10.3 shall be applied to check compatibility (compatibility study).

## 10.3 Compatibility study

The compatibility study, or compatibility case, is a process to demonstrate the compatibility of the new rolling stock or the new infrastructure component with the existing traction units and power supply network. This process is shown in Figure 2 and explained in Table 4.

The amount of work to be done depends on the risk of the integration of a new element in view of the phenomena described in 10.2. If the integration is - based on earlier experiences - without any risk, this shall be documented in the plan, which is the only process step in this case.

The flow chart is applicable to rolling stock and also to fixed power supply components.



**Table 4 – Description of steps**

| No                                                        | Title                                             | Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Concerned party                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 <sup>a</sup>                                            | Plan for compatibility check                      | The plan for a specific compatibility check when introducing a new element in an existing railway system defines the scope of the analysis, and the precise tasks and responsibilities. The plan shall be agreed between all parties involved.<br><br>Nomination of the organisation in charge of the compatibility study | Organisation in charge of the compatibility check<br><br>To be agreed between the parties defined in 10.2 |
| 2                                                         | Characterisation of existing power supply         | Characteristics of the existing power supply system, information relevant to the compatibility with vehicles (see Tables D.1 and D.2).<br><br>Normal feeding arrangements, emergency feeding arrangements                                                                                                                 | Infrastructure manager                                                                                    |
| 3                                                         | Characterisation of existing rolling stock        | Characterisation of existing rolling stock operating on the network, information relevant to the compatibility with the power supply system information (see Tables D.3 and D.4)                                                                                                                                          | Operator/owner of rolling stock                                                                           |
| 4                                                         | Characterisation of existing operation conditions | Information about the operation of the existing system: number of trains in service, typical timetables, normal feeding arrangements, emergency feeding arrangements                                                                                                                                                      | Infrastructure manager                                                                                    |
| 5                                                         | Characterisation of overall rail system/network   | This is the combination of the information from steps 2, 3 and 4. It may be necessary to define different scenarios                                                                                                                                                                                                       | Infrastructure manager                                                                                    |
| 6                                                         | Theoretical analysis of overall system/network    | Investigation of compatibility aspects for different scenarios. In a first step: confirm compatibility of the existing system. In a second step: test potential new elements, check what characteristics they need to fulfil to maintain compatibility of the system                                                      | Infrastructure manager                                                                                    |
| 7                                                         | Acceptance criteria for new element               | The result from the theoretical investigations in step 6 are the particular acceptance criteria for new element. The particular acceptance criteria shall be understandable and measurable when designing and testing a new element. In future, these criteria shall be set up for all networks in identical form         | Infrastructure manager                                                                                    |
| 8                                                         | Design/engineering of new element                 | Design of new element, considering also the acceptance criteria defined in step 7                                                                                                                                                                                                                                         | Supplier of the new element                                                                               |
| 9                                                         | Characterisation of new element                   | The new element shall be modelled with respect to its compatibility with other vehicles and power supply elements. This model after validation in step 15 shall allow an amendment of the characterisation of the existing railway as required in steps 2 and 3                                                           | Supplier of the new element                                                                               |
| 10                                                        | Theoretical analysis of new element               | At an early stage of the design, it should be checked in a theoretical analysis, for example using computer models, that the new element can meet the acceptance criteria                                                                                                                                                 | Supplier of the new element                                                                               |
| <sup>a</sup> The meaning of new element is given in 3.24. |                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                           |

**Table 4 (continued)**

| No                                                                                              | Title                             | Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Concerned party                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 11                                                                                              | Testing in lab/test track         | Once the first equipment (vehicle or power supply equipment) is built, it is tested in the laboratory or on a test track to verify that it meets the acceptance criteria as predicted by the theoretical analysis in step 10. This set of tests can be part of a type test of the new element.                                                                                                                                                                                                                                                                          | Supplier of the new element                                                      |
| 12 <sup>b</sup>                                                                                 | Test plan for compatibility study | A plan is made to define the tests necessary to confirm as far as possible and reasonably:<br><br>that the new element meets the acceptance criteria;<br><br>that the acceptance criteria are sufficient to guarantee the compatibility, make sure that the test reflects the reality,<br><br>The tests shall demonstrate also the correctness of the simulations done in step 10 and shall be limited to critical cases                                                                                                                                                | Organisation in charge of the compatibility study<br><br>To be defined in step 1 |
| 13 <sup>b</sup>                                                                                 | Testing in lab/test track         | Tests will be performed in the laboratory or test track. These tests shall demonstrate that the acceptance criteria are met. A failure to meet the acceptance criteria means necessary modification of the new element by the supplier.<br>This series of tests is part of a type test of the new element.<br><br>The tests shall demonstrate also the correctness of the simulations done in step 10 and shall be limited to critical cases                                                                                                                            | Organisation in charge of the compatibility study                                |
| 14                                                                                              | Tests on real rail system         | Tests on the real system shall give confidence that the acceptance criteria are sufficient to guarantee compatibility within the system after introduction of the new elements. If these tests show compatibility problems despite the compliance of the new equipment with the acceptance criteria, this means that the acceptance criteria were not sufficient.<br><br>This set of tests is part of a type test of the new element.<br><br>The tests shall demonstrate also the correctness of the simulations done in step 10 and shall be limited to critical cases | Organisation in charge of the compatibility study                                |
| 15                                                                                              | Tests confirm compatibility?      | If both sets of tests are successful, then compatibility of the new element with the existing system has been demonstrated. This is to be documented in a compatibility report                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Organisation in charge of the compatibility study                                |
| 16 <sup>c</sup>                                                                                 | End of compatibility check        | With the successful completion of the compatibility study, the new element becomes part of the existing railway system. The responsibility for its compatibility does no longer lie with the supplier of the new element                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Infrastructure manager                                                           |
| <sup>b</sup> The test plan will define if both steps 13 and 14 or only one should be performed. |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                  |
| <sup>c</sup> Seen from the compatibility point of view.                                         |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                  |

The result is a document describing the theoretical analysis and the measuring proof to ensure that the vehicles and infrastructure are compatible in terms of conducted interference currents and stability.

#### 10.4 Methodology and acceptance criteria

The overall acceptance criterion for overvoltages and stability is that no overvoltage higher than 30 kV peak for 15 kV – 16,7 Hz networks, 40 kV peak for 20 kV – 50/60 Hz networks and 50 kV peak for 25 kV – 50/60 Hz networks will occur on the overhead contact line in any point of the power supply network with voltage  $U$  defined in IEC 60850 below or equal to  $U_{\max 2}$ . This value is the peak value of the distorted voltage waveform.

These overall acceptance criteria can always be applied.

Since the overall acceptance criteria can only be applied to the complete power supply system including new element(s), it is beneficial to give design guidelines for the new element(s) which reduce the risk of failure in the compatibility study.

### 11 Coordination of protection

#### 11.1 General

Compatibility of protective systems between traction unit and substation shall be verified.

#### 11.2 Protection toward short-circuits

The breaking capacity of the circuit-breaker for a particular electrification system will determine whether or not faults can be cleared by the traction unit circuit-breaker.

Informative Annex G gives Table G.1 which sets the maximum CL-rail short circuit level as European practice.

Table 5 sets out the action for internal faults within a traction unit.

**Table 5 – Action on circuit-breakers at an internal fault within a traction unit**

| Power supply system                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | When any internal defect fault occurs within the traction units |                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Sequence of tripping for:                                       |                                                                                                                                                         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Substation feeder circuit-breaker                               | Traction unit circuit-breaker                                                                                                                           |
| a.c. 20 000 V and 25 000 V-50/60 Hz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Immediate tripping <sup>a</sup>                                 | Immediate tripping                                                                                                                                      |
| a.c. 15 000 V-16,7 Hz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Immediate tripping <sup>a</sup>                                 | <u>Primary side of the transformer:</u><br>Tripping shall be staged <sup>c</sup><br><br><u>Secondary side of the transformer:</u><br>Immediate tripping |
| d.c. 750 V, 1 500 V and 3 000 V                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Immediate tripping <sup>b</sup>                                 | Immediate tripping                                                                                                                                      |
| <sup>a</sup> The tripping of the circuit-breaker should be very rapid for high short-circuits currents. As far as possible, the traction unit circuit-breaker should trip in order to try to avoid the substation circuit-breaker tripping.<br><sup>b</sup> When the current of the short-circuit is very high, the tripping of circuit-breakers in the substations should be very rapid, and thereby prevents the traction unit circuit-breaker clearing faults on it.<br><sup>c</sup> If breaking capacity of the circuit-breaker allows it, then tripping is immediate. Then, as far as possible, the traction unit circuit-breaker should trip in order to try to avoid the substation circuit-breaker tripping. |                                                                 |                                                                                                                                                         |

NOTE New and modernised traction units should be equipped with high speed circuit-breakers capable to break maximum short-circuit current in the shortest possible time.

### 11.3 Coordination of the circuit breakers on loss of line voltage and re-energisation

There are two possibilities of coordination of the circuit breakers on loss of line voltage and re-energisation:

- a) associated with the opening/closing operation of the traction unit circuit breakers
- b) not associated with opening/closing operation of the traction unit circuit breakers

The choice between a) and b) shall be made based on an agreement among related organizations.

The requirements for the design of the infrastructure and rolling stock are:

- a) With the opening/closing operation of the traction unit circuit breakers

The traction unit circuit breakers shall trip automatically within 3 s after the loss of line voltage.

If the auto-reclosing systems are equipped for circuit breakers in the substation, the substation circuit breakers may only be re-closed after the tripping of the circuit breakers on the traction units present in the zone supplied by the substation.

On re-energisation, the traction unit circuit breaker shall not reclose within 3 s of the line being re-energized.

- b) Without the opening/closing operation of the traction unit circuit breakers

On detection of loss of line voltage, the traction unit shall be stopped immediately (e.g., stop of the gate- signal output for the converters, opening of the contactors on the secondary side of the traction unit circuit breakers). The tripping of the traction unit circuit breaker is not necessary unless any internal fault occurs within the traction units.

If the auto-reclosing systems are equipped for circuit breakers in the substation, the substation circuit breakers shall reclose immediately, if any, after the tripping of the circuit breakers on the faulty traction units.

On re-energisation, the traction unit shall be able to restart immediately after re-energisation of the line.

The following notes are related to both possibilities:

NOTE 1 See IEC 60850, 4.1, Note 2 for detection of loss of line voltage.

NOTE 2 The time delay on re-energisation allows for testing of the line for persistent short-circuit.

NOTE 3 If circuit breakers are to be reclosed in more than one substation, coordination of the re-closing timing between substations may be necessary.

### 11.4 D.C. electrification systems: transient current during closure

This provision is only applicable to d.c. traction units fitted with an input filter.

When the circuit breaker of a traction unit is going to be closed, with the input filter (if fitted), the transient current should not cause the protection devices in the substations to trip unnecessarily. The requisite information (e.g.,  $di/dt$  and/or peak value allowed for the transient current) shall be obtained from the infrastructure managers concerned when vehicle-mounted filters are being designed.

Informative Annex H gives Table H.1 which sets values for the  $di/dt$  differential of the transient current on closure of the traction unit circuit breaker as European practise.

### 11.5 Acceptance criteria

Traction units shall be designed in accordance with the requirements as given in:

- Table 5,
- 11.3 and 11.4 (for d.c.).

The electrification system shall guarantee that the power supply achieves the requirement of 11.3.

If any, the line test system shall satisfy the requirements in 11.3.

## 12 Regenerative braking

### 12.1 General conditions on the use of regenerative braking

#### 12.1.1 Traction unit conditions

Trains shall not continue to use their regenerative brake if

- there is a loss of supply voltage or a contact line-rail/earth short-circuit on the same section fed by the substation,
- the contact line fails to absorb the energy,
- the line voltage is higher than  $U_{\max 2}$  (see IEC 60850, 4.1).

If feedback energy absorption by other consumers is not available, rolling stock shall revert to other brake systems.

NOTE If regenerative energy is about the same level as traction load of other rolling stock, regenerative rolling stock may not be able to detect the loss of line voltage and continue to use regenerative braking.

#### 12.1.2 Power supply system conditions

For a.c. High Speed lines power supply system shall be designed in such a way that regenerative braking can be used as a service brake and able to exchange power seamlessly either with other trains or by any other means. The substation control and protection devices in the power supply system shall allow regenerative braking.

For Conventional lines, power supply systems may be designed in such a way that regenerative braking can be used as a service brake and able to exchange power seamlessly either with other trains or by any other means. The substation control and protection devices in the power supply system can then allow regenerative braking.

### 12.2 Acceptance criteria

Traction units shall comply with the requirements of 12.1.1.

## 13 Tests

The tests given in Table 6 are applicable if the technical requirements shown in Table 6 are applied.

**Table 6 – Tests**

| <b>Title</b>                      | <b>Technical requirement clause</b> | <b>Traction units</b> | <b>Fixed installations</b> | <b>Test methodology clause</b> |
|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Different source sections         | 5                                   | X                     | X                          | 14.1                           |
| Power factor of a train           | 6 (Table 1)                         | X                     |                            | 14.2                           |
| Train current limitation          | 7                                   | X                     |                            | 14.3                           |
| Quality index of the power supply | 8                                   |                       | X                          | 14.4                           |
| Harmonics and dynamic effects     | 10                                  | X                     | X                          | 14.5                           |
| Coordination of protection        | 11                                  | X                     | X                          | 14.6                           |
| Regenerative braking              | 12                                  | X                     | X                          | 14.7                           |

## **14 Test methodology**

### **14.1 Neutral sections**

#### **14.1.1 Tests for traction unit**

At the design phase, compliance to the functional requirements described in 5.1 and 5.2 shall be demonstrated by checking the electrical diagrams, at traction voltage level and control command level.

Type test:

The compliance with the sequences described in 5.1 and 5.2 shall be demonstrated by checking the control command diagrams of the traction unit at design phase.

Routine test:

Tests on a line which is equipped on the infrastructure side to provide control signals to the traction unit shall be performed to demonstrate compliance to the sequences described in 5.1 and 5.2.

#### **14.1.2 Tests for infrastructure**

At the design phase, compliance to the functional requirements described in 5.1 and 5.2 shall be demonstrated by checking the electrical diagrams, at traction voltage level and control command level.

### **14.2 Power factor**

Type test for traction unit:

At the validation phase of the traction unit, on line measurements are performed at any point of curve tractive effort versus speed. The consumed power including auxiliary, the traction or braking modes have to be recorded. Sufficient data shall be obtained in order to verify Table 1.

The values of the power factor shall be checked on board of the train with a feeding system not limiting the performance of the train. The results of the on line measurement shall comply with 6.2 and 6.3.

### 14.3 Train current limitation

At the design phase, compliance to the functional requirements described in 7.2 and 7.3 shall be demonstrated by checking the electrical diagrams, at traction voltage level and control command level.

Type test for traction unit:

The tests or checks shall be performed:

- at the design phase, by checking the functions of the control command of the traction unit;
- at the validation phase, by on line measurement. If necessary, outage of a substation may be initiated to achieve low overhead line voltage.

The results of the on line measurement shall comply with the requirements of 7.2 and 7.3.

### 14.4 Quality index of the power supply

#### 14.4.1 $U_{\text{mean useful}}$ (zone)

| What                                                                  | When                  | How                                                                                                       | Acceptance condition                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Simulation</b><br><br>On a defined zone of the power supply system | After each simulation | Using the simulation results of the trains in the considered zone and calculation with definition in 8.2. | The value is greater than the values given in the relevant column "Zone and train" of Table 4. |

#### 14.4.2 $U_{\text{mean useful}}$ (train)

| What                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | When                                               | How                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Acceptance condition                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Simulation</b><br><br>For a defined train in the simulation timetable – mostly the dimensioning train                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | As a result of simulations                         | Using the simulation results of the train calculation with definition in 8.2.                                                                                                                                                                                                                                                                                           | The value is greater than the values given in the relevant column "Zone and train" of Table 4.                                                                                                                                            |
| <b>Ad hoc measurement</b><br><br>On a train motive power unit.<br><br>This measurement is done within the context of traffic as listed in Clause 9. The measurement is done on a critical or dimensioning train from the simulated service.<br><br>Several measurements should be made on the same train, in order to verify the convergence of the results and their validity.<br><br>As far as possible, the reference timetable is the one used for the simulation. If not, a new simulation with the actual timetable is made | In response to problems or for validation purposes | Voltage recorder devices for the fundamental frequency or digital data loggers with a frequency range greater/equal 2 kHz averaging over 1 s<br><br>measurement period: traction period of train<br><br>calculation with formula hereinafter.<br><br>From the recorded data, the following values or curves are be calculated.<br><br>The curve of voltage against time | The value of $U_m$ is greater than the values given in the relevant column "Zone and train" of Table 4 and verify that the recorded values (mean value or r.m.s.) of the voltage at the pantograph are not lower than $U_{\text{min1}}$ . |

| What                                                                      | When | How                                                                                                                                                                                                                                 | Acceptance condition |
|---------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| NOTE These measurements could, for example, be made on a day by day basis |      | <p>The mean value <math>U_m</math> expressed as</p> $U_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i$ <p>where <math>N</math> is the number of measured time steps in traction periods.</p> <p>This formula is used only for traction period</p> |                      |

#### 14.4.3 Relation between $U_{\text{mean useful}}$ and $U_{\text{min1}}$

| What       | When                  | How                                                                                                                                                                            | Acceptance condition                                                                                          |
|------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Simulation | After each simulation | Using the simulation results of each train considered in the zone, the test is made only if $U_{\text{mean useful}}$ at the pantograph is higher than the values given in 8.3. | Check that the voltage at the pantograph of each train is never lower than $U_{\text{min1}}$ as given in 8.4. |

### 14.5 Harmonics and dynamic effects

For this assessment, 10.3 and 10.4 give all necessary information.

The tests shall demonstrate also the correctness of the simulations done in step 10 and shall be limited to critical cases.

The instrumentation system used for the recording of the peak value of the distorted voltage waveform, shall have an adequate frequency range. The r.m.s. value of the power frequency voltage shall also be recorded accordingly with the peak value of the distorted voltage waveform.

### 14.6 Coordination of protections

#### 14.6.1 Protection toward short-circuits and action on circuit-breakers

The logical sequences of the opening triggering of the traction unit circuit-breaker shall be verified:

- at the design phase by checking the functional electrical diagram of the traction unit;
- in response to problems or for validation when the traction unit is in service, by making a short-circuit test on board and checking that, respectively to Table 8, the different circuit-breakers trip in the correct sequence.

#### 14.6.2 Coordination of the circuit breakers on loss of line voltage and re-energisation

Test in any new substation:

When the tests before putting into service are performed, the requirements of 11.3 shall be verified.

If any, the line test system shall perform the test sequence within a specified time.

Test for the traction unit:

At the design phase of a traction unit, the requirements of 11.3 shall be verified by checking the electrical diagrams.

Routine test:

Tests on line shall demonstrate the conformity to the requirements of 11.3.

#### **14.6.3 DC traction units: Transient current during closure**

- At the design phase, the requirements of 11.4 shall be verified by checking the electrical design of the traction unit.
- Type test for the traction unit:
- At on line test phase, the traction unit shall perform the following sequence of tests:
  - a) check that the on board filter is discharged;
  - b) close the main circuit breaker and record the waveform of the main circuit breaker current.
- The characteristics of this inrush current shall be in accordance with the allowable values obtained in 11.4. and Annex H.

### **14.7 Regenerative braking**

#### **14.7.1 Traction unit**

At the design phase, compliance to the requirements of 12.1.1 of the control command of the traction unit shall be verified.

Type test and routine test:

Before putting into service, compliance to the requirements of 12.1.1 shall be verified in accordance with Clause 9 of IEC 61133.

Therefore, during tests on line, (be it operated line or a test line), contact line shall be energised or de-energised from the substation.

Tests on line shall demonstrate that during braking mode of the traction unit, that the value of  $U_{\max 2}$  at the pantograph is not exceeded.

#### **14.7.2 Substation**

The substation control and protection devices shall allow feed back energy to the supplying network and/or energy absorption apparatus. The analysis of the connecting diagrams allows the assessment.

Where required, combined system tests shall be undertaken to verify correct operation of the substation protection with regenerative traction unit on line.

## Annex A (informative)

### Integration periods over which parameters can be averaged

#### A.1 General

The train operators or infrastructure managers use parameters for

- their dimensioning computations;
- protection measures;
- planning;
- etc.

These are effective only if they are averaged over precisely defined time spans. The subject of this annex is the definition of the periods over which these parameters should be referred with the aim of achieving a simple comparison of these parameters for the different sections of a single railway, or of different railways.

#### A.2 Reference time period over which parameters can be averaged or integrated

**Table A.1 – Integration period**

| Function               | Duration                                                        | Comments                                                                                                                                               |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Protection             | < 100 ms until 300 ms for a.c.<br>< 30 ms until 100 ms for d.c. | Clearance of short-circuits faults depending on the intensity of the short-circuit current                                                             |
| Back up protection     | 200 ms to 3 s                                                   | Clearance of fault on back-up protection                                                                                                               |
| Peak load current      | 1 s to 5 s                                                      | At supply points and individual overhead line. Applicable to computer simulations, effect on feeding arrangements and assessment of back-up protection |
|                        | 1 min                                                           | RMS average current for calculation of thermal loading on equipment                                                                                    |
| Thermal overloading    | 30 s to 20 min<br>preferred value: 10 min                       | RMS. average current for calculation of thermal loading on equipment                                                                                   |
| Energy metering period | 10 min, 15 min or 30 min                                        | Average current or power for definition of the demand on the supply authority                                                                          |
| Long-term loading      | 1 h, 2 h                                                        | Conventional parameter to define long-term railway load                                                                                                |
| Energy consumption     | 1 day, 1 week, 1 month, 1 year                                  | Average energy consumption, used by electricity suppliers to study, for example railway power requirements or when purchasing electricity              |

## **Annex B** (informative)

### **Selection criteria determining the voltage at the pantograph for high speed trains**

The aim of the dimensioning study is to define the characteristics of fixed installations.

These installations shall allow the most severe conditions, as specified in the timetable, to be satisfied through:

- the densest operating period in the timetable, corresponding to peak traffic;
- the characteristics of the different types of train involved, taking account of the selected traction units.

The design of fixed installations for electric traction can be obtained by simulating the critical timetable taking into account the power drawn by each train in the simulation at each time interval. Over and above aspects of sizing of equipment (transformers, overhead lines, autotransformers e.g.  $2 \times 25$  kV, and converters for d.c.) and compatibility with apparent performance tolerated at the high voltage connection points, the quality of the power supply constitutes an important qualifying parameter for the supply scheme studied.

The characteristic curve of tractive effort/speed for a tractive unit changes as a function of the voltage at the pantograph. Determining the envelope of the characteristic tractive effort/speed curve, under reduced voltage is achieved in relation to the nominal characteristic curve, by extrapolation over the speed range, with the proportionality coefficient being slightly lower than the voltage ratio ( $U_{\text{pantograph}} / U_{\text{nominal}}$ ).

The voltage values obtained should allow the desired performance levels to be attained. For example, in order to study electrification with 25 kV, the selection of a voltage of at least 22,5 kV makes it possible, statistically, not to drop below the minimum limit of 19 kV. Voltages below 19 kV are possible in periods of abnormal traffic with trains on closer headways in particular, or in the case of special situations that do not always appear in the simulations (coincidence of flights of traffic in directions 1 and 2).

The incidence of situations with impaired performance, both from the point of view of the power supply scheme and the train diagram, should be assessed with account taken of permitted losses in performance.

The selection of the correct mean useful voltage presents the following advantages:

- a) it allows the tractive units to function close to their nominal voltage (hence optimising efficiency and performance);
- b) it ensures that the values of minimum voltage specified by the standards are respected;
- c) it reflects the fact that the fixed installations for electric traction have the correct potential and that, as a result, increased traffic volumes can be considered;
- d) it allows certain impaired traffic situations to be dealt with.

The mean useful voltage at the pantograph can be defined mathematically as follows:

$$U_{\text{mean useful}} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} U_{p_i} \times |I_{p_i}| \times dt}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} |I_{p_i}| \times dt} \quad (\text{B.1})$$

where

$T_i$  is the integration or study period on train number  $i$ ;  
 $n$  is the number of trains considered in the simulation.

For a.c. electrification :

$U_{p_i}$  is the momentary r.m.s. voltage at fundamental frequency at the pantograph of train number  $i$ ;

$|I_{p_i}|$  is the module of momentary r.m.s. current at fundamental frequency passing through the pantograph of train number  $i$ .

For d.c. electrification:

$U_{p_i}$  is the momentary average d.c. voltage at the pantograph of train number  $i$ ;

$|I_{p_i}|$  is the module of momentary average d.c. current passing through the pantograph of train number  $i$ .

This represents the relationship between mean power calculated for the train/trains during their traction sequences and the corresponding mean current.

An equivalent result is obtained with the following formula which is more suitable for some programs:

$$U_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{M \cdot N \cdot \Delta t} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^M (U_{j,k}(t) \cdot \Delta t) \right) \quad (\text{B.2})$$

where

$n$  is the number of trains considered in the simulation;  
 $U_{j,k}(t)$  is the voltage (a.c.: r.m.s. value of fundamental wave, d.c.: mean value);  
 $M$  is the number of calculation steps in the integration period;  
 $N$  is the number of integration over the simulation;  
 $\Delta t$  is the time during which each calculation step  $M$  is simulated.

NOTE  $\Delta t$  should be short enough to take account of all events in the timetable.

The formulae above are used to study:

- a geographic zone (i.e. the part of the network one wishes to study) in a given period of time, with account taken of all the trains passing through the zone, whether they are in traction mode or not (stationary, traction, regenerating, coasting). The value of  $U_{\text{mean useful}}$  therefore acts as an indicator of the quality of the power supply for the entire zone.
- the mean useful voltage at the pantograph of each train among those taken in isolation; only the traction periods of the train are taken into account.

In this case, in formulae (B.1) and (B.2),  $n$  is equal to 1.

This value is given to check the performance of each train in the simulation and as a result to identify the dimensioning train.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62313:2009

## **Annex C** (informative)

### **Investigation of harmonic characteristics and related overvoltages**

#### **C.1 General**

A large disturbance of the supply voltage is caused if the total impedance/admittance of power supply and existing vehicles has got a negative real part and a complex imaginary part at the feeding point for one specific frequency, called resonance frequency. This condition is sufficient from a mathematical point of view. The complex imaginary part of the impedance can be created by the global power supply alone or by the resulting inductance of the supply line and substation transformer and the corresponding input capacitance of a four-quadrant converter vehicle with primary input filter, respectively. Knowledge of the correct total damping factor at resonance frequency is important for the correct prediction of whether or not a complete system is unstable. The damping factor shall be negative for instability. In principle, simultaneous oscillations at several frequencies could be possible.

#### **C.2 Stability**

##### **C.2.1 Compatibility criteria**

At the pantograph-wheel interface, the most suitable way is to formulate restrictions on the input admittance of the vehicle, including the effect of all controllers inside the vehicle. This can be done either by defining allowed regions for magnitude and phase, or better for real and imaginary part, the real part directly defining the damping and/or excitation contribution. This reflects that there are no "instability sources" but that instability is always a question of transfer behaviour. Requirements for low frequencies, where non-linear effects play an important role, will lead to additional requirements. Knowledge about these effects is still very restricted.

Defining requirements for the vehicle requires, as described above, that the internal stability criteria for the whole power supply system have to be defined first, and have been broken down correctly to the one-vehicle interface.

##### **C.2.2 Measurement and validation**

On a one-vehicle level, tests can be done by simulation, in the lab and on test tracks. Measurement of the vehicle input admittance versus frequency requires a power supply where a test voltage of a variable higher frequency can be superimposed on the fundamental supply voltage. In general, this is practicable by means of different possible installations and has been done before. The measurement of a non-linear behaviour could be more difficult since it normally depends on the operation point of a vehicle.

Compatibility tests between one vehicle and the power supply can mainly show whether stability is maintained or not. Instabilities can be detected either by protective shutdowns or observation of unwanted oscillations. It is difficult to measure the distance towards the stability margin. Damping of transients can give a rough figure for this.

Validation of power supply models is difficult because of the large amount of the system data required and is therefore restricted to normal operation conditions. There are methods available, however they are not ready for commercial use yet.

### **C.3 Overvoltages generated by harmonics**

#### **C.3.1 Compatibility criteria**

In principle, the same is valid as for stability: since all power supply networks have both an input and a transfer behaviour, all network internal issues (such as amplification of harmonics between different locations in the network) have to be solved first.

For the compatibility check, the manufacturer of rolling stock shall get the following information from the infrastructure manager:

- internal harmonic voltage source of the power supply. This includes the harmonics generated by the power supply itself (substations) as well as those generated by other vehicles. This can be done by definition of typically expected and maximum allowed voltage spectra at the pantograph of the vehicle;
- admittance versus frequency of the power supply, seen at the vehicle's position. The admittance shall be provided for relevant conditions of the power supply network (including existing vehicles). A link to the voltage spectrum source information has to be made (e.g. a certain source spectrum with high harmonic content could be relevant only in combination with a weak network admittance).

Traditionally the vehicle shall not exceed certain limits of harmonic current versus frequency (harmonic envelope). The harmonic envelope is normally defined with respect to signalling equipment, a similar approach is possible with limitation of overvoltages. The more restrictive harmonic envelope should be applied.

#### **C.3.2 Measurement and validation questions**

Measurement of harmonic currents and voltages is state of the art. Simultaneous measurements at different locations allow some conclusions to be made. Also, the transfer behaviour of the power supply network and the plausibility of the requirements put on the new vehicle can be quantified.

## Annex D (informative)

### Data related to the compatibility study of harmonics and dynamic effects

#### D.1 Characterisation of the traction power supply fixed installations

To obtain complete and in-depth characterisation of the fixed installations for power supply is a huge effort. Furthermore, a general and simple characterisation for all types of fixed installations which is appropriate for the compatibility study, cannot be given, see 10.3.

However, as a guideline to typical situations and configurations of fixed installations, Tables D.1 and D.2 describe the characteristics of a.c. and d.c. power supplies, mainly in terms of impedance, with their typical, maximum and minimum values from the point of view of the traction unit.

Particular values of systems which have different characteristics from those given in Tables D.1 and D.2 should be given by the infrastructure manager.

The values given in Tables D.1 and D.2 are valid for installations without significant length of cables at the supply voltage (50 m/sectors). In the other case, the infrastructure manager should indicate the location and characteristics of the cables.

**Table D.1 – Characterization of a.c. electrified lines**

| Type of line                                                                                                                        |    |         | HS TSI lines |                         | Conventional TSI lines and classical lines |         |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|---------|--------------|-------------------------|--------------------------------------------|---------|---------|
|                                                                                                                                     |    |         | High speed   | Upgraded and connecting | Power                                      |         |         |
|                                                                                                                                     |    |         |              |                         | High                                       | Medium  | Weak    |
| Typical available power of the source                                                                                               | MW |         | 20 – 60      | 15 – 45                 | 15 – 45                                    | 15 – 30 | 10 – 20 |
| Typical power of one train                                                                                                          | MW |         | 8 – 20       | 5 – 15                  | 5 – 15                                     | 4 – 10  | 2 – 6   |
| Length of the route supplied by one source in normal operating conditions.<br>Distance from source to sectioning point <sup>a</sup> |    |         |              |                         |                                            |         |         |
| 25 000 V - 50 Hz                                                                                                                    | km | min     | 15           | 20                      | 15                                         | 15      | 20      |
|                                                                                                                                     |    | typical | 20           | 25                      | 25                                         | 30      | 35      |
|                                                                                                                                     |    | max     | 30           | 30                      | 30                                         | 35      | 40      |
| 2 x 25 000 V - 50 Hz                                                                                                                | km | min     | 20           | 20                      | 20                                         | 30      | 30      |
|                                                                                                                                     |    | typical | 30           | 30                      | 30                                         | 40      | 60      |
|                                                                                                                                     |    | max     | 45           | 50                      | 50                                         | 50      | 70      |
| 15 000 V - 16,7 Hz                                                                                                                  | km | min     | 15           | 20                      | 20                                         | 30      | 30      |
|                                                                                                                                     |    | typical | 20           | 25                      | 25                                         | 35      | 40      |
|                                                                                                                                     |    | max     | 30           | 35                      | 35                                         | 40      | 60      |
| 2 x 15 000 V - 16,7 Hz                                                                                                              | km | min     | 30           | 30                      | 30                                         | 40      | 40      |
|                                                                                                                                     |    | typical | 40           | 40                      | 40                                         | 50      | 50      |
|                                                                                                                                     |    | max     | 60           | 60                      | 60                                         | 70      | 70      |

Table D.1 (continued)

| Type of line                                                                                                                      |     |                       | HS TSI lines            |                         | Conventional TSI lines and classical lines |                         |                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                                                                                                                                   |     |                       | High speed              | Upgraded and connecting | Power                                      |                         |                         |
|                                                                                                                                   |     |                       |                         |                         | High                                       | Medium                  | Weak                    |
| Possible presence of compensation filters in the substation                                                                       | Y/N |                       | N                       | Y                       | Y                                          | Y                       | Y                       |
| Tuned frequency of the filter<br>25 000 V or 2 x 25 000 V - 50 Hz                                                                 | Hz  |                       | N.A.                    | 120 – 130<br>220 – 240  | 120 – 130                                  | 120 – 130<br>220 – 240  | 120 – 130<br>220 – 240  |
| 15 000 V or 2 x 15 000 V - 16,7 Hz                                                                                                |     |                       |                         | 45                      | 45                                         | 45                      | 45                      |
| Quality factor <sup>c</sup><br>25 000 V or 2 x 25 000 V<br>15 000 V or 2 x 15 000 V                                               |     |                       | N.A.                    | 100                     | 100                                        | 100                     | 100                     |
| Impedance of the source, fundamental frequency (high voltage grid, transformer) in<br>25 000 V - 50 Hz                            | Ω   | min<br>typical<br>max | 2<br>2,5<br>3,5         | 3<br>4<br>7             | 3<br>4<br>7                                | 5<br>7<br>10            | 7<br>8<br>10            |
| 15 000 V - 16,7 Hz                                                                                                                | Ω   | min<br>typical<br>max | 0,2<br>0,4<br>1,4       | 0,2<br>0,4<br>1,4       | 0,4<br>0,7<br>1,4                          | 0,7<br>1,4<br>2,8       | 1,4<br>2,8<br>4,5       |
| Resonance frequency <sup>b</sup> of 16,7 Hz high voltage network                                                                  | Hz  | min<br>typical<br>max | 80<br>180<br>300        | 80<br>180<br>300        | 80<br>180<br>300                           | 80<br>180<br>300        | 80<br>180<br>300        |
| Resonance frequency <sup>b</sup> of the electrified section of the route (without effect of filter(s) if any)<br>25 000 V - 50 Hz | Hz  | min<br>typical<br>max | 1 000<br>1 200<br>1 400 | 900<br>1 100<br>1 200   | 800<br>1 100<br>1 200                      | 700<br>900<br>1 200     | 500<br>800<br>1 000     |
| 2 x 25 000 V - 50 Hz                                                                                                              | Hz  | min<br>typical<br>max | 2 000<br>3 000<br>3 500 | 2 000<br>2 500<br>3 500 | 2 000<br>2 500<br>3 500                    | 1 500<br>2 200<br>3 500 | 1 500<br>2 000<br>3 000 |
| 15 000 V - 16,7 Hz                                                                                                                | Hz  | min<br>typical<br>max | 1 700<br>2 100<br>2 800 | 1 700<br>2 100<br>2 800 | 1 500<br>1 900<br>2 500                    | 1 100<br>1 400<br>1 400 | 800<br>1 300<br>1 300   |
| 2 x 15 000 V - 16,7 Hz                                                                                                            | Hz  | min<br>typical<br>max | Reserved                |                         |                                            |                         |                         |

<sup>a</sup> When substations are connected in parallel, this length is half of the distance between two consecutive substations.

<sup>b</sup> Lowest resonance frequency.

<sup>c</sup> Lw/R.

**Table D.2 – Characterisation of d.c. electrified lines**

| Type of line                                                                              |     |         | HS TSI lines                                 |                                              | Conventional TSI lines and classical lines   |                                              |                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                                                                                           |     |         | High speed <sup>b</sup>                      | Upgraded and connecting                      | Power                                        |                                              |                                              |
|                                                                                           |     |         |                                              |                                              | High                                         | Medium                                       | Weak                                         |
| Typical available power of the source                                                     |     |         |                                              |                                              |                                              |                                              |                                              |
| 750 V                                                                                     | MW  |         | /                                            | 4                                            | 4                                            | 4                                            | 2                                            |
| 1 500 V                                                                                   |     |         | /                                            | 8 – 15                                       | 8 – 15                                       | 4 – 8                                        | 2 – 4                                        |
| 3 000 V                                                                                   |     |         | 10 – 20                                      | 6 – 12                                       | 6 – 12                                       | 3 – 6                                        | 3                                            |
| Typical power of one train                                                                |     |         |                                              |                                              |                                              |                                              |                                              |
| 750 V                                                                                     | MW  |         | /                                            | 5                                            | 5                                            | 4                                            | 3                                            |
| 1 500 V                                                                                   |     |         | /                                            | 7,5                                          | 7,5                                          | 5                                            | 4                                            |
| 3 000 V                                                                                   |     |         | 8 – 12                                       | 6                                            | 6                                            | 3                                            | 3                                            |
| Length of the route supplied by one source under normal operating conditions <sup>a</sup> |     |         |                                              |                                              |                                              |                                              |                                              |
| 750 V                                                                                     | km  | min     |                                              | 2                                            | /                                            | /                                            | /                                            |
|                                                                                           |     | typical |                                              | 2,5                                          | 3                                            | 6                                            | 8                                            |
|                                                                                           |     | max     |                                              | 3                                            | /                                            | /                                            | /                                            |
| 1 500 V                                                                                   | km  | min     |                                              | 2                                            | 2                                            | 4                                            | 8                                            |
|                                                                                           |     | typical |                                              | 6                                            | 6                                            | 7                                            | 10                                           |
|                                                                                           |     | max     |                                              | 8                                            | 8                                            | 10                                           | 10                                           |
| 3 000 V                                                                                   | km  | min     | 6                                            | 7,5                                          | 7,5                                          | 10                                           | 10                                           |
|                                                                                           |     | typical | 8                                            | 10                                           | 10                                           | 12,5                                         | 12,5                                         |
|                                                                                           |     | max     | 12                                           | 12,5                                         | 12,5                                         | 15                                           | 15                                           |
| Possible presence of compensation filters in the substation (frequency)                   | Y/N |         |                                              | Y                                            | Y                                            | Y                                            | Y                                            |
|                                                                                           | Hz  |         |                                              | 600                                          | 600                                          | 600                                          | 600                                          |
|                                                                                           |     |         |                                              | 1 200                                        | 1 200                                        | 1 200                                        | 1 200                                        |
|                                                                                           |     |         |                                              | 50 Hz (signalling purposes)                  |                                              |                                              |                                              |
| 750 V                                                                                     | Hz  | GB      |                                              | no                                           | no                                           | no                                           | no                                           |
| 1 500 V                                                                                   |     | NL      |                                              | no                                           | no                                           | no                                           | no                                           |
| 1 500 V                                                                                   |     | FR      |                                              | yes                                          | yes                                          | yes                                          | yes                                          |
| 3 000 V                                                                                   |     | BE      |                                              |                                              |                                              |                                              |                                              |
| 3 000 V                                                                                   |     | ES      |                                              | 600, 1 200                                   | 600, 1 200                                   | 600, 1 200                                   | 600, 1 200                                   |
| 3 000 V                                                                                   |     | IT      | Aperiodic filters which attenuate f > 100 Hz | Aperiodic filters which attenuate f > 100 Hz | Aperiodic filters which attenuate f > 100 Hz | Aperiodic filters which attenuate f > 100 Hz | Aperiodic filters which attenuate f > 100 Hz |

**Table D.2 (continued)**

| Type of line                                                                                                                                                                                                |    |    | HS TSI lines            |                                                                                        | Conventional TSI lines and classical lines                                                      |                                                                                                  |                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                             |    |    | High speed <sup>b</sup> | Upgraded and connecting                                                                | Power                                                                                           |                                                                                                  |                                                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                             |    |    |                         |                                                                                        | High                                                                                            | Medium                                                                                           | Weak                                                                                             |
| 3 000 V                                                                                                                                                                                                     | Hz | PL |                         | 600, 1 200 and aperiodic filters which attenuate either $f > 100$ Hz or $f > 1 000$ Hz | 300, 600, 900, 1200 and aperiodic filters which attenuate either $f > 100$ Hz or $f > 1 000$ Hz | 300, 600, 900, 1 200 and aperiodic filters which attenuate either $f > 100$ Hz or $f > 1 000$ Hz | 300, 600, 900, 1 200 and aperiodic filters which attenuate either $f > 100$ Hz or $f > 1 000$ Hz |
| 3 000 V                                                                                                                                                                                                     |    | SI |                         |                                                                                        |                                                                                                 | Aperiodic filters which attenuate $f > 100$ Hz                                                   |                                                                                                  |
| <sup>a</sup> When substations are connected in parallel, this length is half of the distance between two consecutive substations.<br><sup>b</sup> For those countries concerned by <sup>c</sup> of Table 5. |    |    |                         |                                                                                        |                                                                                                 |                                                                                                  |                                                                                                  |

## D.2 Characterisation of the trains

Tables D.3 and D.4 describe respectively the a.c. and d.c. traction units, mainly in terms of impedances, conducted interference harmonics and stability from the point of view of the traction power supply.

Particular values of vehicles which have different characteristics from those given in Tables D.3 and D.4 should be given by the operator(s) of existing traffic to the infrastructure manager.

**Table D.3 – Characterisation of one a.c. train with respect to impedances, harmonics and stability**

| Type of propulsion system | Tap changer                            | Diode rectifier                                | Thyristor rectifier                            | Four quadrant converter                                                        |
|---------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Bandwidth of switching    | 3 Hz                                   | 3 Hz                                           | 2 x fundamental frequency                      | 150 Hz, 6 000 Hz depending on switching device                                 |
| Bandwidth of control      | < 3 Hz                                 | < 3 Hz                                         | < 0,5 x fundamental frequency                  | 1 000 Hz depending on switching device                                         |
| <b>Harmonic source</b>    |                                        |                                                |                                                |                                                                                |
| Type of source            | Current source only due to transformer | Current source due to switched large inductors | Current source due to switched large inductors | Voltage source on transformer secondary side due to switched d.c. link voltage |

**Table D.3 (continued)**

| Type of propulsion system                         | Tap changer                                                                                             | Diode rectifier                                                                                                                                            | Thyristor rectifier                                                                                                                | Four quadrant converter                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Type of harmonics                                 | Only odd natural harmonics                                                                              | Mainly odd natural harmonics                                                                                                                               | Mainly odd natural harmonics<br><br>Some even natural harmonics during change of power or due to unsymmetrical firing angles       | Depends on modulation method<br><br>Usually mainly odd natural harmonics<br><br>Few even natural harmonics<br><br>Small interharmonics due to convolution effects in line inverter |
| Typical values for low frequency harmonics        | Very few due to transformer non-linearity                                                               | Large                                                                                                                                                      | Large                                                                                                                              | Only small, exists mainly if auxiliary frequency converter is of phase angle control type or due to regular sampling effects                                                       |
| Sub-harmonics                                     | Only few                                                                                                | Only few                                                                                                                                                   | Depends on adhesion and power control                                                                                              | Depends on adhesion and power control                                                                                                                                              |
| Medium frequency harmonics                        | Low<br>50 Hz – 183 Hz (16,7 Hz)<br>150 Hz – 550 Hz (50 Hz)                                              | Medium<br>50 Hz – 2 000 Hz (16,7 Hz)<br>150 Hz – 2 000 Hz (50 Hz)                                                                                          | Medium<br>50 Hz – 2 000 Hz (16,7 Hz)<br>150 Hz – 2 000 Hz (50 Hz)                                                                  | Medium<br>400 Hz – 10 000 Hz                                                                                                                                                       |
| <b>Input admittance caused by control units</b>   |                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                    |
| Type of impedance for fundamental frequency       | Passive or active RL                                                                                    | Passive RL                                                                                                                                                 | Passive or active RL                                                                                                               | Passive or active R, RL or RC                                                                                                                                                      |
| Type of impedance for $f >$ fundamental frequency | Passive RL                                                                                              | Passive RL                                                                                                                                                 | Passive RL                                                                                                                         | Active and/or passive RLC, depending on frequency and control                                                                                                                      |
| Non-linearity                                     | When motor fields saturated (at high traction effort)                                                   | Significant due to switched impedance                                                                                                                      | Significant due to switched impedance                                                                                              | Mainly for low frequencies due to power and d.c. voltage control or inrush                                                                                                         |
| Dependence on operation point                     | For all frequencies due to:<br>– motor admittance depending on speed<br>– transformation by tap changer | For all frequencies due to:<br>– motor admittance depending on speed<br>– transformation by tap changer<br>– commutation angles depending on motor current | For all frequencies due to:<br>– motor admittance depending on speed<br>– firing and commutation angles depending on motor voltage | Only for frequencies lower than the line frequency                                                                                                                                 |

**Table D.3 (continued)**

| Type of propulsion system                | Tap changer | Diode rectifier                                              | Thyristor rectifier                                          | Four quadrant converter                                 |
|------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Dependence on line impedance             | None        | Yes, due to change of commutation angles with line impedance | Yes, due to change of commutation angles with line impedance | None                                                    |
| <b>Input impedance caused by filters</b> |             |                                                              |                                                              |                                                         |
| Applied                                  | Not         | Partly                                                       | Partly                                                       | Partly                                                  |
| •Resonance behaviour                     | NA          | 100 Hz - 300 Hz                                              | 100 Hz - 300 Hz                                              | 250 Hz - 800 Hz<br>16,7 Hz<br>250 Hz - 800 Hz,<br>50 Hz |

**Table D.4 – Characterisation of one d.c. train with respect to impedances, harmonics and stability**

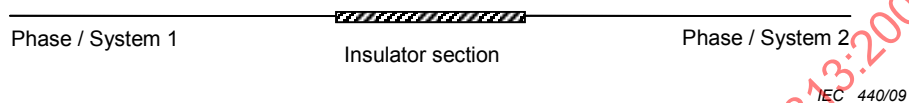
| Type of propulsion system                                                                                                                                                                                                                                                                               | DC motors with switched resistors | DC motors with chopper                   | AC motors with chopper + inverter      | AC motors with direct inverter         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| Bandwidth of switching                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 3 Hz                              | 400 Hz - 600 Hz or higher <sup>b c</sup> | 400 Hz - 600 Hz or higher <sup>c</sup> | 400 Hz - 600 Hz or higher <sup>c</sup> |
| Bandwidth of control                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Not applicable <sup>a</sup>       | 50 Hz - 100 Hz                           | 50 Hz - 100 Hz                         | 50 Hz - 100 Hz                         |
| Input impedance caused by filters                                                                                                                                                                                                                                                                       | Not applicable                    | > 2 $\Omega$ at 50 Hz                    | > 2 $\Omega$ at 50 Hz                  | > 2 $\Omega$ at 50 Hz                  |
| Pulsing frequency                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Not applicable                    | up to 300 Hz                             | up to 300 Hz                           | up to 5 000 Hz                         |
| Resonance behaviour of filters                                                                                                                                                                                                                                                                          | Not applicable                    | 20 Hz - 40 Hz                            | 20 Hz - 30 Hz                          | 10 Hz - 30 Hz                          |
| <sup>a</sup> The starting resistors are excluded step by step if the currents are lower than the reference value.<br><sup>b</sup> Frequency may be increased by a polyphase chopper. Frequency may be reduced at the start.<br><sup>c</sup> Frequency can be increased up to a few kHz when using IGBT. |                                   |                                          |                                        |                                        |

## Annex E (informative)

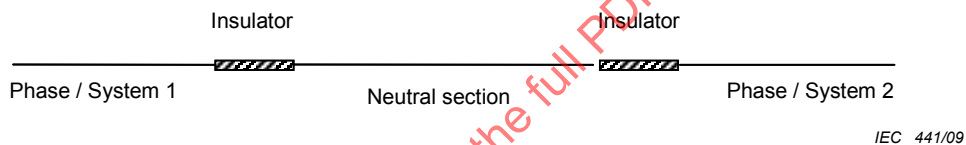
### Types of different source sections

#### E.1 Insulator and sections

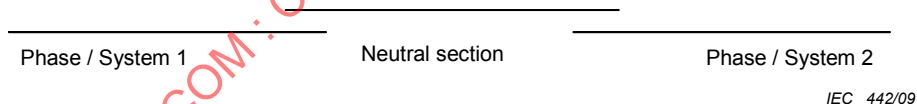
The insulator section, shown in Figure E.1, is a section of a contact line formed by insulators inserted in a continuous run of contact line, to prevent successive electrical sections differing in voltage or phase being connected together by the passage of current collectors.



**Figure E.1 – Insulator section**



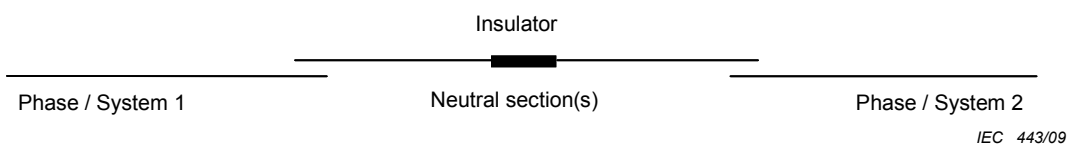
**Figure E.2 – Neutral section with insulators**



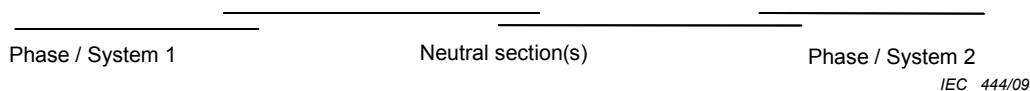
**Figure E.3 – Neutral section with insulated overlaps**

#### E.2 Split neutral section

A split neutral section is a section of a contact line provided with a sectioning point at each end, to prevent successive electrical sections differing in voltage or phase being connected together by the passage of current collectors. The structures of split neutral sections are shown in Figure E.4 and Figure E.5.



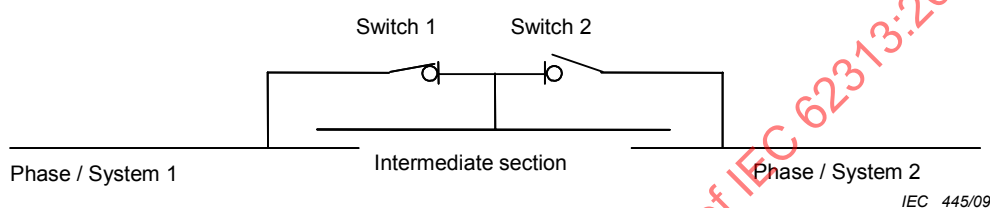
**Figure E.4 – Split neutral section with an insulator and insulated overlaps**



**Figure E.5 – Split neutral section with three insulated overlaps**

### E.3 Changeover section

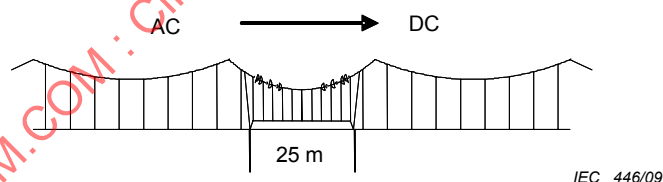
Changeover section shown in Figure E.6 is constituted by a section with insulated overlaps at both end and two changeover switches. When a train enters into the section from left side, the left side switch is closed and the right side switch is opened. After the train entered entirely into the section, switches are changed over and the train will leave the section. Therefore the train can pass the section with power running.



**Figure E.6 – Changeover section**

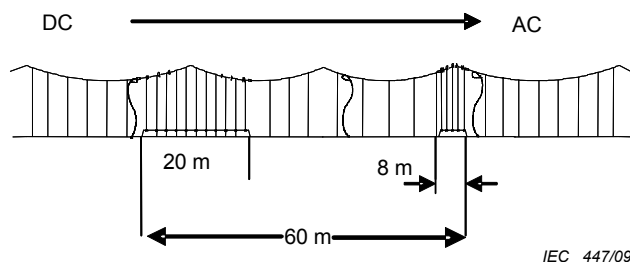
### E.4 Examples of the section length to avoid bridging by arcs

Figure E.7 shows an example of section configuration to proceed from AC system to DC system. It is configured with an insulator section and used only for conventional lines. From experimental results (Japan), it is known that arcs become extinct within 8 m at 50/60 Hz. In consideration of the distance between electrically connected pantographs (15 m at most), the section has enough length to avoid bridging by arcs.



**Figure E.7 – Example of system separation section from AC to DC**

Figure E.8 shows an example of section configuration to proceed from DC system to AC system. It is configured with a neutral section with insulators and used only for conventional lines. The neutral section is not connected to earth. From experimental results, it is known that arcs become extinct within 100 ms. In addition, to protect onboard DC circuits from AC systems, the time for detecting loss of DC voltage and automatically tripping the circuit-breaker is taken into account. As a result, the section has enough length to avoid bridging by arcs.



**Figure E.8 – Example of system separation section from DC to AC**

## Annex F (informative)

### Maximum allowable train current

**Table F.1 – Maximum allowable train current (A)**

| Power supply system                                                                                            | High speed lines |          | Conventional lines |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------|--------------------|
|                                                                                                                | Specially built  | Upgraded | Maximum value      |
| a.c. 25 000 V 50 Hz                                                                                            | 1 500            | 600      | 800                |
| a.c. 15 000 V <sup>a</sup> 16,7 Hz                                                                             | 1 500            | 900      | 900                |
| d.c. 3 000 V <sup>a</sup>                                                                                      | 4 000            | 4 000    | 4 000              |
| d.c. 1 500 V <sup>a</sup>                                                                                      | /                | 5 000    | 5 000              |
| d.c. 750 V                                                                                                     | /                | /        | 6 800              |
| <sup>a</sup> On special lines (e.g. freight in mountain area, suburban network), these values may be exceeded. |                  |          |                    |

## Annex G

(informative)

### Maximum contact line – rail short-circuit level as European practise

**Table G.1 – Maximum contact line –  
rail short-circuit level as European practise**

| Power supply system                                               | Substation generally<br>connected in parallel<br>Y/N | Maximum fault current<br>that may occur<br>kA |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| a.c. 25 000 V 50 Hz                                               | N                                                    | 15 <sup>a</sup>                               |
| a.c. 15 000 V 16,7 Hz                                             | Y                                                    | 40                                            |
| d.c. 3 000 V                                                      | Y                                                    | 50 (prospective sustained <sup>b</sup> )      |
| d.c. 1 500 V                                                      | Y                                                    | 100 (prospective sustained <sup>b</sup> )     |
| d.c. 750 V                                                        | Y                                                    | 100 (prospective sustained <sup>b</sup> )     |
| <sup>a</sup> The value of 12 kA was previously commonly accepted. |                                                      |                                               |
| <sup>b</sup> For definition see IEC 61992-1, 3.2.12.              |                                                      |                                               |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62313:2009

## Annex H (informative)

### di/dt when closure of traction unit circuit breaker

Table H.1 sets values for the di/dt differential of the transient current on closure of the traction unit circuit breaker as European practise.

**Table H.1 – di/dt when closure of traction unit circuit breaker**

| T<br>ms | Condition applicable to di/dt<br>A/ms |
|---------|---------------------------------------|
| 0       | $di/dt < 60$                          |
| 20      | $di/dt < 20$                          |

with a minimum overhead and substation inductance of 2 mH.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62313:2009

## Annex I (informative)

### Special national conditions

**Special national conditions:** National characteristic or practice that cannot be changed even over a long period, e.g. climatic conditions, electrical earthing conditions. If it affects harmonization, it forms part of the International Standard.

For the countries in which the relevant special national conditions apply these provisions are normative, for other countries they are informative.

| <u>Clauses</u> | <u>Special national condition</u> |
|----------------|-----------------------------------|
|----------------|-----------------------------------|

|     |               |
|-----|---------------|
| 6.3 | <b>Sweden</b> |
|-----|---------------|

Capacitive power factor is not at all allowed at voltages over 16,5 kV in Sweden. The reason for this is the risk of making it hard or impossible for other vehicles to use regenerative braking because of too high voltage on the overhead contact line.

|     |                          |
|-----|--------------------------|
| 6.3 | <b>Sweden<br/>Norway</b> |
|-----|--------------------------|

In regeneration mode (electrical braking) the train shall not behave like a capacitor greater than 60 kVAr at any regenerated power. This means that a capacitive power factor is prohibited during regeneration. The exception of 60 kVAr capacitive reactive power is to allow the possibility to have filters on the high voltage side of the train/traction unit. These filters shall not exceed 60 kVAr capacitive reactive power at the fundamental frequency.

Comment: The reason for not allowing capacitive power factor in regeneration mode is that under such conditions distance relay protections have problems to detect faults. Depending on the line impedance, the degree of the capacitive power factor and the amount of regenerated power.

|              |                      |
|--------------|----------------------|
| 7.2 Figure 1 | <b>Great Britain</b> |
|--------------|----------------------|

For existing networks, which are compliant with EN 50163:1995, the automatic regulation of train current demand with falling system voltage shall decay from  $I_{\max}$  at  $a \times U_n$  to  $0,5 \times I_{\max}$  at  $U_{\min 2}$ .

- a) For 25 000 V a.c. systems, below  $U_{\min 2}$  until 12 500 V, the current shall remain at this value, at which the train shall be able to operate for up to 2 min without damage.
- b) For 750 V d.c. systems, the current shall remain at this value for  $U_{\min 2}$  of 400 V, at which the train shall be able to operate for up to 2 min without damage.

## Bibliography

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

EN 50119, *Railway applications – Fixed installations – Electric traction overhead contact line*

EN 50121 (all parts), *Railway applications – Electromagnetic compatibility*

EN 50122-1, *Railway applications – Fixed installations – Part 1: Protective provisions relating to electrical safety and earthing*

EN 50238, *Railway applications – Compatibility between rolling stock and train detection*

EN 50367<sup>1</sup>, *Railway applications – Current collection systems – Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line (to achieve free access)*

UIC 795, *Minimum installed power line categories*

UIC 796, *Voltage at the pantograph*

UIC 797, *Co-ordination of electrical protection substations/traction units*

UIC 798, *Integration periods over which parameters can be averaged*

96/48/EC, *EU council directive on the interoperability of the trans-European high speed rail system TSI sub-system Energy*, Official Journal L 235, 17/09/1996 P. 0006 – 0024

2001/16/EC, *Directive of the European Parliament and of the Council on the interoperability of the trans-European conventional rail system*

SHOREI (2001), *Ordinance stipulating technical standards on railways – The Ministry of Land, Infrastructure and Transport Ordinance no. 151 (Japan). Shinkansen lines are built in accordance with 'SHOREI' or equivalent technical specifications, equipped for speeds equal to or greater than 200 km/h.*

---

<sup>1</sup> In preparation.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62313:2009

## SOMMAIRE

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT PROPOS .....                                                                                            | 53 |
| 1 Domaine d'application .....                                                                                 | 55 |
| 2 Références normatives .....                                                                                 | 55 |
| 3 Termes et définitions .....                                                                                 | 56 |
| 4 Période sur laquelle les paramètres peuvent être moyennés ou intégrés .....                                 | 59 |
| 5 Sections de séparation .....                                                                                | 59 |
| 5.1 Section de séparation de phases à courant alternatif .....                                                | 60 |
| 5.2 Section de séparation de systèmes .....                                                                   | 61 |
| 5.3 Critère d'acceptation .....                                                                               | 61 |
| 6 Facteur de puissance d'un train .....                                                                       | 62 |
| 6.1 Généralités .....                                                                                         | 62 |
| 6.2 Facteur de puissance inductif .....                                                                       | 62 |
| 6.3 Facteur de puissance capacitif .....                                                                      | 62 |
| 7 Limitation du courant absorbé par un train .....                                                            | 63 |
| 7.1 Courant maximal du train .....                                                                            | 63 |
| 7.2 Régulation automatique .....                                                                              | 63 |
| 7.3 Dispositif de limitation de courant ou de puissance .....                                                 | 64 |
| 8 Indice de qualité de l'alimentation en énergie .....                                                        | 64 |
| 8.1 Généralités .....                                                                                         | 64 |
| 8.2 Description .....                                                                                         | 64 |
| 8.3 Valeurs de $U_{\text{moyen utile}}$ au pantographe .....                                                  | 65 |
| 8.4 Relation entre $U_{\text{moyen utile}}$ et $U_{\text{min}}$ .....                                         | 65 |
| 8.5 Critères d'acceptation .....                                                                              | 65 |
| 9 Type de ligne et système d'électrification .....                                                            | 66 |
| 10 Harmoniques et effets dynamiques .....                                                                     | 66 |
| 10.1 Généralités .....                                                                                        | 66 |
| 10.2 Procédure d'acceptation pour de nouveaux éléments .....                                                  | 67 |
| 10.3 Etude de compatibilité .....                                                                             | 68 |
| 10.4 Méthodologie et critères d'acceptation .....                                                             | 72 |
| 11 Coordination des protections .....                                                                         | 72 |
| 11.1 Généralités .....                                                                                        | 72 |
| 11.2 Protection contre les courts-circuits .....                                                              | 72 |
| 11.3 Coordination des disjoncteurs sur la perte de tension de ligne et rétablissement de l'alimentation ..... | 73 |
| 11.4 Systèmes d'électrification en courant continu: courant transitoire à la fermeture du disjoncteur .....   | 74 |
| 11.5 Critère d'acceptation .....                                                                              | 74 |
| 12 Freinage par récupération .....                                                                            | 74 |
| 12.1 Conditions générales relatives à l'utilisation du freinage par récupération .....                        | 74 |
| 12.1.1 Conditions relatives aux unités de traction .....                                                      | 74 |
| 12.1.2 Conditions relatives au système d'alimentation en énergie .....                                        | 75 |
| 12.2 Critère d'acceptation .....                                                                              | 75 |
| 13 Essais .....                                                                                               | 75 |
| 14 Méthodologie d'essai .....                                                                                 | 75 |
| 14.1 Sections neutres .....                                                                                   | 75 |

|                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 14.1.1 Essais des unités de traction .....                                                                                     | 75  |
| 14.1.2 Essais de l'infrastructure .....                                                                                        | 76  |
| 14.2 Facteur de puissance .....                                                                                                | 76  |
| 14.3 Limitation du courant absorbé par un train .....                                                                          | 76  |
| 14.4 Indice de qualité de l'alimentation en énergie .....                                                                      | 77  |
| 14.4.1 $U_{\text{moyen utile}}$ (zone) .....                                                                                   | 77  |
| 14.4.2 $U_{\text{moyen utile}}$ (Train) .....                                                                                  | 77  |
| 14.4.3 Relation entre $U_{\text{moyen utile}}$ et $U_{\text{min1}}$ .....                                                      | 78  |
| 14.5 Harmoniques et effets dynamiques .....                                                                                    | 78  |
| 14.6 Coordination des protections .....                                                                                        | 78  |
| 14.6.1 Protection vis-à-vis des court circuits et action sur les disjoncteurs .....                                            | 78  |
| 14.6.2 Coordination des disjoncteurs sur la perte de tension de ligne et rétablissement de l'alimentation .....                | 78  |
| 14.6.3 Unités de tractions à courant continu: Courant transitoire à la fermeture du disjoncteur .....                          | 79  |
| 14.7 Freinage par récupération .....                                                                                           | 79  |
| 14.7.1 Unité de traction .....                                                                                                 | 79  |
| 14.7.2 Sous-station .....                                                                                                      | 79  |
| Annexe A (informative) Périodes d'intégration sur lesquelles les paramètres peuvent être moyennés .....                        | 80  |
| Annexe B (informative) Critères de choix déterminant la tension au pantographe des trains à grande vitesse .....               | 81  |
| Annexe C (informative) Investigation sur les harmoniques et les surtensions associées .....                                    | 84  |
| Annexe D (informative) Données relatives à l'étude de compatibilité des harmoniques et effets dynamiques .....                 | 86  |
| Annexe E (informative) Types de sections de séparation .....                                                                   | 93  |
| Annexe F (informative) Courant maximal admissible du train .....                                                               | 96  |
| Annexe G (informative) Niveau maximal du courant de court circuit ligne de contact/rails en tant que pratique européenne ..... | 97  |
| Annexe H (informative) $di/dt$ lors de la fermeture du disjoncteur de l'unité de traction .....                                | 98  |
| Annexe I (informative) Conditions nationales spéciales .....                                                                   | 99  |
| Bibliographie .....                                                                                                            | 100 |
| Figure 1 – Courant maximal du train par rapport à la tension .....                                                             | 63  |
| Figure 2 – Procédure pour l'étude de compatibilité des harmoniques et effet dynamiques .....                                   | 69  |
| Figure E.1 – Section à isolateurs .....                                                                                        | 93  |
| Figure E.2 – Section neutre avec isolateurs .....                                                                              | 93  |
| Figure E.3 – Section neutre avec sectionnements à lame d'air .....                                                             | 93  |
| Figure E.4 – Section neutre à double sectionnement avec un isolateur et des sectionnements à lame d'air .....                  | 93  |
| Figure E.5 – Section neutre à double sectionnement comportant trois sectionnements à lame d'air .....                          | 94  |
| Figure E.6 – Section de séparation commutable .....                                                                            | 94  |
| Figure E.7 – Exemple de section de séparation du système du courant alternatif au courant continu .....                        | 94  |
| Figure E.8 – Exemple de section de séparation du système du courant continu au système courant alternatif .....                | 95  |

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 – Facteur de puissance inductif global $\lambda$ d'un train .....                                                       | 62 |
| Tableau 2 – Valeurs du facteur $a$ (informatif) .....                                                                             | 64 |
| Tableau 3 – Tension $U_{\text{moyen utile}}$ minimale au pantographe (V) .....                                                    | 65 |
| Tableau 4 – Description des pas .....                                                                                             | 70 |
| Tableau 5 – Action sur les disjoncteurs en cas de défaut interne dans une unité de traction .....                                 | 73 |
| Tableau 6 – Essais .....                                                                                                          | 75 |
| Tableau A.1 – Période d'intégration .....                                                                                         | 80 |
| Tableau D.1 – Caractérisation des lignes électrifiées en courant alternatif .....                                                 | 87 |
| Tableau D.2 – Caractérisation des lignes électriques en courant continu .....                                                     | 89 |
| Tableau D.3 – Caractérisation d'un train en courant alternatif vis-à-vis des impédances, des harmoniques et de la stabilité ..... | 90 |
| Tableau D.4 – Caractérisation d'un train en courant continu vis-à-vis des impédances, des harmoniques et de la stabilité .....    | 92 |
| Tableau F.1 – Courant maximal admissible du train (A) .....                                                                       | 96 |
| Tableau G.1 – Niveau maximal du courant de court circuit ligne de contact/rails en tant que pratique européenne .....             | 97 |
| Tableau H.1 – $di/dt$ lors de la fermeture du disjoncteur de l'unité de traction .....                                            | 98 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62313:2009

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**APPLICATIONS FERROVIAIRES –  
ALIMENTATION ÉLECTRIQUE ET MATÉRIEL ROULANT –  
CRITÈRES TECHNIQUES POUR LA COORDINATION ENTRE LE SYSTÈME  
D'ALIMENTATION (SOUS-STATION) ET LE MATÉRIEL ROULANT**

## AVANT PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique 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"). Tout comité national de la CEI intéressé par le sujet traité peut prendre part à ces travaux préliminaires. Des organismes internationaux, gouvernementaux ou non gouvernementaux, opérant en relation avec la CEI participent également à cette élaboration. 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'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les normes internationales de la CEI dans leurs normes 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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62313 a été établie par le comité d'études 9 de la CEI: Matériels et systèmes électriques ferroviaires. Cette norme est basée sur l'EN 50388 (2005).

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS        | Rapport de vote |
|-------------|-----------------|
| 9/1225/FDIS | 9/1258/RVD      |

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62313:2009

## **APPLICATIONS FERROVIAIRES – ALIMENTATION ÉLECTRIQUE ET MATÉRIEL ROULANT – CRITÈRES TECHNIQUES POUR LA COORDINATION ENTRE LE SYSTÈME D'ALIMENTATION (SOUS-STATION) ET LE MATÉRIEL ROULANT**

### **1 Domaine d'application**

La présente Norme internationale a pour but de fixer les exigences concernant l'acceptation du matériel roulant sur l'infrastructure dans les domaines suivants:

- coordination des principes de protection entre l'alimentation électrique et les engins de traction, spécialement la discrimination des défauts lors des courts circuits;
- coordination entre la puissance installée d'une ligne et la demande de puissance des trains;
- coordination entre le freinage par récupération d'un engin de traction et la réceptivité de l'alimentation électrique;
- coordination dans le comportement vis-à-vis des harmoniques.

Cette norme traite de la définition et des exigences de la qualité de l'alimentation électrique à l'interface entre l'unité de traction et les installations fixes.

La norme spécifie l'interface entre le matériel roulant et les installations fixes de traction électrique, dans le cadre «système d'alimentation». L'interaction entre le pantographe et la ligne aérienne ainsi que l'interaction avec le sous-système «contrôle-commande» (en particulier la signalisation) ne sont pas traitées dans la norme.

Les exigences sont données pour les catégories de ligne suivantes:

- les lignes grande vitesse,
- les lignes conventionnelles:

Pour les lignes classiques, les valeurs, le cas échéant, sont données pour les réseaux européens existants. Un ensemble de valeurs est également spécifié pour le réseau futur, qui est aussi appelé réseau «cible».

Les systèmes de traction électrique suivants sont concernés:

- chemins de fer;
- systèmes guidés de transport qui sont intégrés avec les chemins de fer;
- systèmes de transport de matières, qui sont intégrés avec les chemins de fer.

Cette norme ne s'applique pas rétroactivement aux matériels roulants déjà acceptés par les gestionnaires d'infrastructure. Cependant, sur infrastructure nouvelle, le matériel roulant existant peut être accepté par le gestionnaire d'infrastructure pour autant qu'il y ait un accord.

L'information sur les paramètres d'électrification est donnée aux entreprises d'exploitation ferroviaire pour leur permettre de confirmer, après consultation des constructeurs de matériel roulant, qu'il n'y aura pas de perturbation consécutive sur le système d'électrification.

### **2 Références normatives**

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références

non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050-811, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 811: Traction électrique*

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

CEI 61133, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais de matériel roulant après achèvement et avant mise en service*

CEI 61992-1, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Appareillage à courant continu – Partie 1: Généralités*

ISO 3166-1:2006, *Codes pour la représentation des noms de pays et de leurs subdivisions – Partie 1: Codes pays*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

#### 3.1

##### **ligne grande vitesse**

ligne spécialement construite ou aménagée pour des vitesses généralement égales ou supérieures à 200 km/h

#### 3.2

##### **ligne conventionnelle**

ligne sur laquelle circulent des trains conventionnels de passagers et fret. Elle n'est pas spécialement conçue pour la grande vitesse telle que définie en 3.1.

Cela inclut:

- des informations sur les réseaux européens, repérés avec leur code national (voir l'ISO 3166-1);
- le futur réseau cible appelé «cible», voir 3.25

#### 3.3

##### **type de ligne**

classification des lignes en fonction des paramètres décrits de 3.4 à 3.6

#### 3.4

##### **puissance du train au pantographe**

puissance active du train prenant en compte la puissance pour la traction, la récupération et les auxiliaires

#### 3.5

##### **espacement minimal des circulations**

intervalle entre les trains permis par le système de signalisation

#### 3.6

##### **vitesse maximale en ligne**

vitesse pour laquelle l'exploitation de la ligne a été autorisée

**3.7****lignes de contact**

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

[VEI 811-33-01]

**3.8****ligne de contact aérienne**

ligne électrique destinée à alimenter des véhicules en énergie électrique par l'intermédiaire d'organes de prise de courant et constituée par des conducteurs placés au-dessus (ou à côté) de la limite supérieure du gabarit des véhicules

[VEI 811-33-02]

**3.9****sous-station (de traction)**

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

**3.10****facteur de puissance global  $\lambda$** 

$$\lambda = \frac{\text{puissance active}}{\text{puissance apparente}}$$

**3.11****facteur de forme  $v$** 

$$v = \frac{\lambda}{\cos \varphi}$$

**3.12****facteur de puissance de l'onde fondamentale**

$$\cos \varphi = \frac{\text{puissance active de l'onde fondamentale}}{\text{puissance apparente de l'onde fondamentale}}$$

NOTE C'est également le facteur de déplacement  $\cos \varphi$ .

**3.13****section de séparation**

partie de ligne de contact prévue pour éviter l'interconnexion par les organes de prise de courant, de deux caténaires successives pouvant présenter des différences de tension ou de phase

- **section neutre**  
partie de ligne de contact pourvue à chaque extrémité d'un point de sectionnement, de façon à éviter l'interconnexion par les organes de prise de courant, de deux caténaires successives pouvant présenter des différences de tension, de phase ou de fréquence
- **[VEI 811-36-16]**  
**isolateur de section**  
partie de ligne de contact prévue pour éviter l'interconnexion par les organes de prise de courant, de deux caténaires successives pouvant présenter des différences de tension, de phase ou de fréquence, comportant un isolateur inséré dans la ligne de contact

- **section commutable**

section d'une ligne de contact équipée d'une section au milieu pour permettre la mise sous tension de l'une ou l'autre source d'alimentation à chaque extrémité par commutation

### 3.14

#### **véhicule**

terme général servant à désigner tout élément de matériel roulant, par exemple une locomotive, une voiture ou un wagon

[VEI 811-02-02]

### 3.15

#### **unité de traction**

terme général servant à désigner une locomotive, une automotrice ou un élément automoteur

[VEI 811-02-04]

### 3.16

#### **matériel roulant**

terme général servant à désigner un ensemble de véhicules, motorisés ou non.

[VEI 811-02-01]

### 3.17

#### **train**

toute combinaison de matériels roulants attelés. Il comprend les locomotives de pousse.

### 3.18

#### **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 Les règles normales peuvent varier suivant la politique d'exploitation du gestionnaire de l'infrastructure.

### 3.19

#### **conditions anormales d'exploitation**

soit des charges de trafic plus importantes, soit une mise hors service d'une installation d'alimentation sortant des règles normales

NOTE Dans ces conditions, le trafic peut ne pas être exploité suivant l'horaire projeté.

### 3.20

#### **tension moyenne utile au pantographe**

$U_{\text{moyen utile}}$

#### 3.20.1

$U_{\text{moyen utile}}$  (zone)

tension donnant une indication sur la qualité de l'alimentation électrique sur une zone géographique pendant la période de trafic de pointe de l'horaire

#### 3.20.2

$U_{\text{moyen utile}}$  (train)

tension identifiant le train dimensionnant et permettant de quantifier l'effet sur sa performance

### 3.21

#### **train dimensionnant**

train dont la tension moyenne utile est la plus basse

**3.22****registre d'infrastructure**

un document unique qui reprend, par chaque section de ligne, les caractéristiques des lignes concernées pour tous les sous-systèmes qui comprennent des installations fixes.

Il convient que le «registre d'infrastructure» soit rédigé par le gestionnaire d'infrastructure ou son représentant autorisé.

**3.23****gestionnaire d'infrastructure**

entité ou entreprise responsable en particulier de la conception, de l'exploitation et de la maintenance des infrastructures ferroviaires. Il peut aussi inclure la gestion des systèmes de sécurité et de commande de l'infrastructure. Les fonctions du gestionnaire de l'infrastructure d'un réseau ou d'une partie d'un réseau peuvent être attribuées à différentes entités ou entreprises.

**3.24****nouvel élément**

généralement toute unité de traction, reconstruite ou modifiée (matériel ou logiciel) ou composant du système d'alimentation, nouveau, ayant une influence possible sur le comportement harmonique du système d'alimentation

Ce nouvel élément sera intégré dans un réseau d'alimentation existant avec des unités de traction, par exemple en ce qui concerne les installations fixes:

- transformateur;
- câble haute tension;
- filtres;
- convertisseur.

**3.25****réseau cible**

réseau dont la conception permet l'interopérabilité européenne et d'éviter des investissements ultérieurs coûteux

**4 Période sur laquelle les paramètres peuvent être moyennés ou intégrés**

Cet article est informatif et se réfère à l'Annexe A.

Les opérateurs ferroviaires ou les gestionnaires d'infrastructure utilisent des paramètres pour:

- leurs calculs informatiques de dimensionnement;
- les calculs de réglage de protection;
- la planification;
- etc.

Ils ne sont efficaces que s'ils sont moyennés sur un laps de temps précisément défini.

L'Annexe A donne pour information les périodes sur lesquelles il convient de moyenner ces paramètres.

**5 Sections de séparation**

Il existe plusieurs types de sections de séparation, tels que la section à isolateurs, la section neutre et la section commutable, comme indiqué à l'Annexe E.

## 5.1 Section de séparation de phases à courant alternatif

Le franchissement des sections de séparation de phases par les trains peut se dérouler de quatre manières:

- a) avec le courant de traction / régénéré;
- b) avec le courant de charge auxiliaire consommé;
- c) avec le courant à vide du transformateur consommé;
- d) sans consommation d'énergie.

Le choix parmi les points a) à d) doit être opéré par le gestionnaire d'infrastructure.

Les exigences de la conception de l'infrastructure et du matériel roulant sont:

### a) Courant de traction/ régénéré

Si les sections de séparation de phase doivent être franchies avec circulation de courant de traction/régénération, les sections commutables doivent être installées dans l'infrastructure. Voir l'Article E.4 relatif aux informations sur la section commutable.

L'opération de commutation de l'alimentation fournie pour la section commutable doit être réalisée automatiquement dans l'infrastructure.

Les trains doivent permettre de courtes interruptions de la tension d'alimentation au cours des opérations de commutation sans provoquer de dommages ou de défaillances.

### b) Courant de charge auxiliaire consommé

Si les sections de séparation de phases doivent être franchies avec consommation d'un courant de charge auxiliaire, les sections et les pantographes doivent avoir le pouvoir de coupure du courant de charge auxiliaire, et également de fermeture et de transport du courant magnétisant des transformateurs.

Le courant de traction/régénération doit être ramené à zéro à l'entrée de la section de séparation de phase. La manœuvre automatique est privilégiée; bien que la manœuvre manuelle à bord soit également autorisée.

Les sections doivent comporter une longueur suffisante pour éviter le pontage des deux phases par l'arc du courant de traction/régénération dans le cas où le courant de traction/régénération ne parvient pas à atteindre zéro.

Voir l'Article E.1 relatif aux informations sur la section à isolateurs.

### c) Courant à vide du transformateur consommé

Si les sections de séparation de phases doivent être franchies avec consommation de courant à vide du transformateur, les sections et les pantographes doivent avoir le pouvoir de fermeture et de transport du courant magnétisant des transformateurs.

Tant le courant de traction/régénéré que le courant de charge auxiliaire doivent être ramenés à zéro à l'entrée de la section de séparation de phase. La manœuvre automatique est privilégiée; bien que la manœuvre manuelle à bord soit également autorisée.

Les sections doivent comporter une longueur suffisante pour éviter le pontage des deux phases par l'arc du courant de traction/récupéré dans le cas où le courant de traction/récupéré ne parvient pas à atteindre zéro.

Voir l'Article E.1 relatif aux informations sur la section à isolateurs.

### d) Sans consommation d'énergie.

Si les sections de séparation de phase doivent être franchies avec une consommation d'énergie du train ramenée à zéro, la consommation d'énergie doit être ramenée à zéro à l'entrée de la section de séparation de phase.

Pour les lignes grande vitesse, cela doit être effectué automatiquement.

Pour les lignes conventionnelles, la manœuvre automatique est privilégiée; bien que la manœuvre manuelle à bord soit également autorisée.

L'abaissement des pantographes n'est pas nécessaire.

Voir les Articles E.2 et E.3 concernant les informations sur les sections qui conviennent.

Le gestionnaire d'infrastructure doit mettre en œuvre des moyens appropriés pour permettre à un train bloqué sous la section de séparation de phase de pouvoir repartir. Cependant, de tels moyens ne sont pas nécessairement requis pour la section à isolateurs.

## 5.2 Section de séparation de systèmes

Les trains doivent être capables de passer d'un système d'alimentation donné à un système adjacent différent sans pontage des deux systèmes. Les actions nécessaires (ouverture du disjoncteur principal, abaissement des pantographes) dépendent du type de chacun des systèmes d'alimentation ainsi que de la disposition des pantographes sur les trains et de la vitesse de marche.

Le franchissement des sections de séparation de systèmes par les trains peut se dérouler de deux manières:

- a) soit avec le pantographe en position soulevée et en contact avec la ligne aérienne;
- b) soit avec le pantographe en position abaissée et sans contact avec la ligne aérienne.

Le choix entre les points a) et b) doit être opéré par le gestionnaire d'infrastructure.

Les exigences de la conception de l'infrastructure et du matériel roulant sont:

### a) Pantographe en position soulevée

Si les sections de séparation de système sont franchies avec des pantographes en position soulevée, des mesures doivent être prises du côté de l'infrastructure pour éviter de ponter les deux systèmes d'alimentation adjacents en cas de défaillance de l'ouverture du (des) disjoncteur(s) embarqué(s), par exemple, mise à la terre de la section neutre.

Pour les lignes à Grande Vitesse, sur le matériel roulant, les dispositifs prévus à cet effet doivent automatiquement déclencher l'ouverture du disjoncteur en amont de la section de séparation et doivent automatiquement reconnaître la tension du nouveau système d'alimentation au pantographe afin de pouvoir commuter les circuits correspondants.

Concernant les lignes conventionnelles, ces exigences pour les lignes Grande Vitesse peuvent être appliquées.

### b) Pantographe abaissé

Lors du franchissement des sections de séparation de système avec pantographes en position abaissée, les conditions suivantes doivent être remplies:

Les sections de séparation entre différents systèmes d'alimentation doivent être conçues de manière à éviter le pontage des deux systèmes d'alimentation et à mettre immédiatement hors tension les deux sections en cas de contact involontaire du pantographe avec la ligne aérienne. Le déclenchement sur court circuit assure la sauvegarde des sections isolées.

- Pour les lignes à Grande Vitesse, au niveau des séparations de systèmes d'alimentation nécessitant l'abaissement du pantographe, celui-ci doit être abaissé sans l'intervention du mécanicien, par l'action des signaux de commande.
- Concernant les lignes conventionnelles, ces exigences pour les lignes Grande Vitesse peuvent être appliquées.

Des exemples de la longueur de section en vue d'éviter le pontage par des arcs sont donnés dans l'Article E.4.

## 5.3 Critère d'acceptation

Les concepteurs de l'infrastructure, des unités de traction et du contrôle commande doivent satisfaire aux exigences de 5.1 et 5.2.

## 6 Facteur de puissance d'un train

### 6.1 Généralités

Plus le facteur de puissance d'un train est élevé, meilleure est la performance de l'alimentation électrique, aussi les règles ci-après s'appliquent.

La puissance capacitive ou inductive d'un train peut être utilisée pour modifier la tension de la ligne aérienne de contact.

### 6.2 Facteur de puissance inductif

Ce paragraphe traite seulement du facteur de puissance inductif et de la consommation de puissance sur la gamme des tensions de  $U_{\min 1}$  à  $U_{\max 1}$  tels que défini dans la CEI 60850.

Le Tableau 1 ci-après donne le facteur de puissance inductif  $\lambda$  pour un train. Par le calcul de  $\lambda$ , seul le fondamental de la tension au pantographe est pris en compte.

**Tableau 1 – Facteur de puissance inductif global  $\lambda$  d'un train**

| Puissance instantanée P d'un train au pantographe<br>MW | Lignes grande vitesse |               | Lignes conventionnelles |
|---------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|-------------------------|
|                                                         | Grande vitesse        | Aménagée      | Cible <sup>c</sup>      |
| $P > 6$                                                 | $\geq 0,95^d$         | $\geq 0,95^d$ | $\geq 0,95^{a d}$       |
| $2 < P \leq 6$                                          | $\geq 0,93^d$         | $\geq 0,93^d$ | $\geq 0,93^{a d}$       |
| $0 \leq P \leq 2$                                       | b                     | b             | b                       |

Si un train ou un véhicule est à l'arrêt, le pantographe en contact avec la caténaire, la puissance de traction à zéro et les auxiliaires en service, le facteur de puissance global résultant ne doit pas être inférieur à 0,8, si la puissance active prélevée à la ligne aérienne de contact est supérieure à 200 kW.

Le calcul de la moyenne globale de  $\lambda$  pour un trajet de train, incluant les arrêts, est réalisé à partir de l'énergie active  $W_p$  (MWh) et de l'énergie réactive  $W_Q$  (MVarh) données par la simulation sur ordinateur pour un trajet de train ou par mesure sur un train réel.

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{W_Q}{W_p}\right)^2}}$$

<sup>a</sup> Ces valeurs sont recommandées.

<sup>b</sup> Pour contrôler le facteur de puissance global de la charge auxiliaire d'un train durant les phases de marche sur l'erre, la valeur moyenne globale de  $\lambda$  (traction et auxiliaires) définie par simulation et/ou mesure doit être supérieure à 0,85 sur un trajet normal complet.

<sup>c</sup> Le gestionnaire d'infrastructure pourra imposer des conditions (par exemple au plan économique, opérationnel et de la limitation de puissance), avant l'acceptation des trains interopérables dont les facteurs de puissance sont inférieurs à la valeur cible de référence.

<sup>d</sup> Il est prévu que ces valeurs évoluent, respectivement à 0,98 et 0,95.

Pendant les phases de régénération, il est admis que la valeur du facteur de puissance inductif diminue librement dans le but de conserver la tension dans ses limites.

### 6.3 Facteur de puissance capacitif

Durant des phases de traction, le facteur de puissance capacitif est admis afin de conserver la tension dans ses limites.

- Dans la gamme de tensions de  $U_{\min 1}$  à  $U_{\max 1}$  définie dans la CEI 60850, les facteurs de puissance capacitifs ne sont pas limités.

- Dans la gamme de tensions de  $U_{\max 1}$  à  $U_{\max 2}$  définie dans la CEI 60850, un train ne doit pas se comporter comme un condensateur.

NOTE Les facteurs de puissance capacitifs peuvent conduire à la génération de surtension et/ou à des effets dynamiques et il convient de les traiter selon l'Article 10 de la présente norme.

## 7 Limitation du courant absorbé par un train

### 7.1 Courant maximal du train

Le courant maximal admissible du train avec ses auxiliaires doit être déterminé par le gestionnaire d'infrastructure.

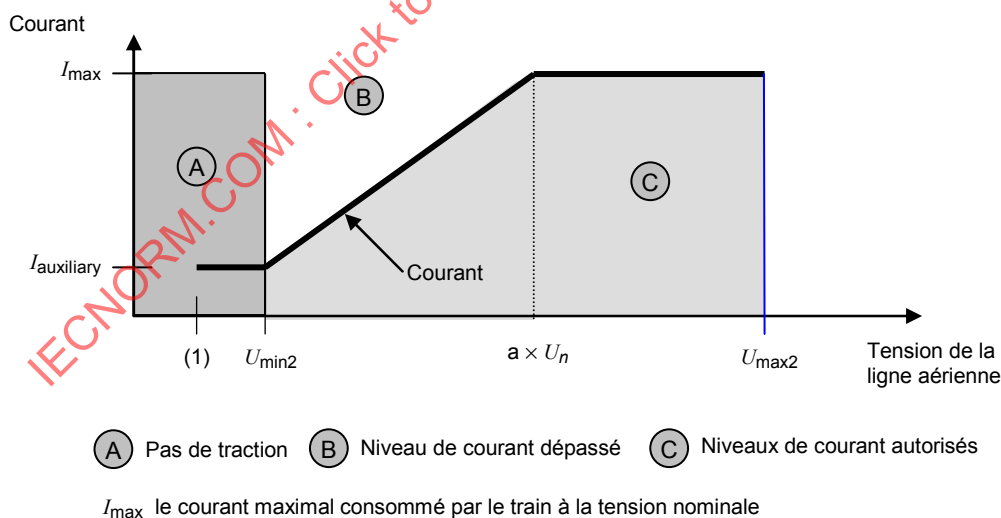
Le Tableau F.1 de l'Annexe F indique, pour information, le courant maximal admissible du train avec ses auxiliaires. Les niveaux mentionnés s'appliquent aux phases de traction et de récupération.

NOTE Afin de prévenir un surdimensionnement du sous-système d'énergie, les valeurs figurant dans le Tableau F.1 sont fournies pour le matériel roulant et non pas pour la conception du sous-système d'énergie pour une charge continue.

### 7.2 Régulation automatique

Afin de faciliter une exploitation sur des réseaux dont l'alimentation électrique est faible ou dans des conditions anormales d'exploitation, si le gestionnaire d'infrastructure le demande, les trains doivent être munis d'un dispositif automatique, par exemple: une partie du logiciel du système de commande de propulsion, permettant d'adapter le niveau de la puissance absorbée selon la tension de la ligne aérienne de contact en régime stable. La Figure 1 indique le courant autorisé maximal du train en fonction de la tension de la ligne aérienne de contact.

Cette figure ne s'applique pas au régime de freinage par récupération.



IEC 438/09

(1) en considérant les valeurs de réglage des déclencheurs de tension, voir la CEI 60850 Note 2 du 4.1.

NOTE Le but de ce diagramme n'est pas de déterminer la puissance nominale du train.

**Figure 1 – Courant maximal du train par rapport à la tension**

Il convient que la valeur du facteur "a" du coude soit donnée suivant un accord parmi les organismes concernés.

Le Tableau 2 ne figure qu'à titre d'information.

**Tableau 2 – Valeurs du facteur a (informatif)**

| Système d'alimentation | 25 000 V<br>50 Hz<br>courant alternatif | 15 000 V<br>16,7 Hz<br>courant alternatif | 3 000 V<br>courant continu | 1 500 V<br>courant continu | 750 V<br>courant continu |
|------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Valeur de a            | 0,9                                     | 0,95                                      | 0,9                        | 0,9                        | 0,8                      |

### 7.3 Dispositif de limitation de courant ou de puissance

Afin de pouvoir circuler librement sur des lignes bien ou faiblement alimentées, et à la demande du gestionnaire d'infrastructure, les unités de traction de forte puissance doivent comporter un sélecteur de courant ou de puissance pour éviter que la demande en énergie du train ne dépasse la capacité électrique de la ligne. Ceci peut être effectué par l'intermédiaire d'une fonction logicielle dans le cadre de l'électronique de commande.

Le gestionnaire d'infrastructure doit déclarer les limitations de chaque ligne dans le «registre de l'infrastructure».

Le réglage du sélecteur doit être effectué automatiquement.

Toutefois, si l'infrastructure n'est pas encore équipée par un réglage automatique du sélecteur de puissance, ce réglage peut être effectué manuellement par le mécanicien.

## 8 Indice de qualité de l'alimentation en énergie

### 8.1 Généralités

L'étude de dimensionnement, telle que décrite dans l'Annexe B, a pour objet de définir les caractéristiques des installations fixes.

Il convient que ces installations puissent s'adapter aux conditions les plus extrêmes dans le respect de la grille horaire:

- la période d'exploitation la plus dense de la grille horaire, correspondant au trafic de pointe;
- les caractéristiques des différents types de trains impliqués, avec les unités de traction appropriées.

L'indice de qualité  $U_{\text{moyen utile}}$  est calculé par simulation, et peut être vérifié moyennant des mesures ponctuelles à effectuer sur un train spécifique.

### 8.2 Description

La tension moyenne utile  $U_{\text{moyen utile}}$  est calculée moyennant une simulation sur ordinateur d'une zone géographique (zone d'étude) en prenant en compte l'ensemble des trains programmés sur la zone durant une période donnée correspondant à la période de pointe dans la grille horaire. Ce laps de temps spécifique doit être suffisant pour faire face à la charge la plus élevée sur chaque section électrique dans la zone géographique considérée.

Les caractéristiques de l'installation d'alimentation en énergie et de chaque type de train seront prises en compte dans la simulation.

La tension fondamentale au pantographe de chaque train dans la zone géographique est analysée à chaque pas temporel de la simulation. Pour les systèmes à courant alternatif, la valeur efficace de la tension fondamentale est utilisée. Pour les systèmes à courant continu,

c'est la valeur moyenne qui est utilisée. Ce pas temporel dans la simulation doit être suffisamment court pour faire face à tous les événements survenant dans la grille horaire.

Les valeurs de tension provenant de la simulation sont utilisées pour étudier:

a)  $U_{\text{moyen utile}}$  (zone)

Il s'agit de la valeur moyenne des tensions analysées dans cette simulation. Elle donne une indication de la qualité de l'alimentation en énergie pour l'ensemble de la zone.

Tous les trains se trouvant dans la zone géographique durant la période de pointe considérée sont compris dans cette analyse, qu'ils soient en mode traction ou non (à l'arrêt, en traction, par récupération, sur l'erre) à chaque pas temporel de la simulation.

b)  $U_{\text{moyen utile}}$  (train)

Il s'agit de la valeur moyenne de l'ensemble des tensions dans la même simulation que celles utilisées dans l'étude de zone géographique, sauf que l'analyse ne porte que sur les tensions pour un train spécifique à chaque pas temporel où le train reçoit une charge de traction (pas à l'arrêt, ni en récupération ou sur l'erre).

La valeur moyenne de ces tensions permet de contrôler la performance de chaque train dans la simulation, et identifie par voie de conséquence le train de référence, celui dont les possibilités d'accélération sont plus restreintes par des tensions basses.

### 8.3 Valeurs de $U_{\text{moyen utile}}$ au pantographe

Le Tableau 3 indique les valeurs minimales de la tension moyenne utile  $U_{\text{moyen utile}}$  au pantographe en conditions normales d'exploitation.

**Tableau 3 – Tension  $U_{\text{moyen utile}}$  minimale au pantographe (V)**

| Système d'alimentation en énergie a)                                                         | Lignes grande vitesse | Lignes conventionnelles |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|
|                                                                                              | Zone et train         | Zone et train           |
| c.a. 25 000 V 50 Hz                                                                          | 22 500                | 22 000                  |
| c.a. 15 000 V 16,7 Hz                                                                        | 14 200                | 13 500                  |
| c.c. 3 000 V                                                                                 | 2 800                 | 2 700                   |
| c.c. 1 500 V                                                                                 | 1 300                 | 1 300                   |
| c.c. 750 V                                                                                   | NA                    | 675                     |
| NA: non applicable.                                                                          |                       |                         |
| a) Aucune valeur n'est connue pour d'autres systèmes d'alimentation cités dans la CEI 60850. |                       |                         |

### 8.4 Relation entre $U_{\text{moyen utile}}$ et $U_{\text{min1}}$

L'alimentation en énergie doit être conçue de façon à ce que les simulations permettant de calculer la tension moyenne utile  $U_{\text{moyen utile}}$  au pantographe en condition normale d'exploitation, ne génèrent pas au pantographe d'un train des valeurs de tension instantanée (efficace, moyenne) inférieures à la limite  $U_{\text{min1}}$  pour le trafic correspondant au type de ligne concernée (voir Article 9).

### 8.5 Critères d'acceptation

La conception du système d'électrification doit garantir la capacité de l'alimentation à atteindre la performance spécifiée en 8.3 et 8.4. Donc, il doit être considéré comme accepté si les exigences des 8.3 et 8.4 sont respectées. Il incombe au gestionnaire d'infrastructure d'indiquer son souhait ou refus de la réalisation de cette étude.

## 9 Type de ligne et système d'électrification

Le gestionnaire de l'infrastructure doit déclarer les paramètres de la ligne en termes de:

- vitesse en ligne;
- espacement minimal des circulations;
- puissance maximale du train.

## 10 Harmoniques et effets dynamiques

### 10.1 Généralités

Les caractéristiques d'harmoniques de l'alimentation et du matériel roulant dans le système ferroviaire déterminent les surtensions dans le circuit d'alimentation (ligne aérienne de contact et circuit de retour) et la stabilité dans ce système. Afin de réaliser la compatibilité électrique du système en régime stable et sous conditions dynamiques, ces surtensions harmoniques doivent rester inférieures aux valeurs critiques. Avec l'installation de dispositifs de protection, les surtensions entraînent une interruption du service normal et sont critiques plus du point de vue de l'exploitation que celui de la sécurité et de la sûreté.

Les effets physiques suivants provoquent des surtensions:

#### a) Surtensions liées à l'instabilité du système

Les véhicules ferroviaires de type moderne à traction par onduleurs et auxiliaire ainsi que les changeurs de fréquences statiques sont généralement des dispositifs actifs aptes à transférer l'énergie d'un élément de fréquence du spectre à un autre. Leur comportement durant ce transfert est essentiellement déterminé par les contrôleurs des onduleurs et également par des éléments passifs.

Ces contrôleurs doivent être réglés ou le comportement en impédance des composants passifs (réseaux d'alimentation, véhicules) doit être optimisé de façon à garantir un comportement stable quelles que soient les conditions d'exploitation rencontrées. Dans un système non stable, les valeurs physiques comme les tensions ou les courants tendent vers l'infini et entraînent une mise hors service dans la réalité. Pour des systèmes non linéaires, ils peuvent aussi osciller continuellement (en oscillation entretenue) sur une ou plusieurs fréquences.

Les questions de stabilité sont toujours liées aux boucles de rétroaction dans un système, notamment au travers d'un ou plusieurs contrôleurs d'un ou plusieurs sous-systèmes électriques. Il n'existe aucune source explicite d'excitation nécessaire pour générer l'oscillation. Ce fait est à distinguer du cas b) indiqué ci-après, dans lequel il existe toujours une source d'excitation et un canal de transmission/amplification.

Normalement, les oscillations produites par des instabilités se situent dans la gamme de fréquences allant jusqu'à environ 500 Hz (largeur de bande des contrôleurs concernés).

Les oscillations de faible fréquence (en dessous et autour de la fréquence d'alimentation) intéressent plus particulièrement les caractéristiques non linéaires des systèmes de convertisseurs modernes. Les instabilités des fréquences plus élevées peuvent être linéarisées de façon approximative.

#### b) Surtensions liées aux harmoniques

Les onduleurs à semi-conducteurs (type à commande par déphasage ou à commutation forcée) montés sur le matériel roulant ou pour des besoins d'alimentation en énergie des installations fixes engendrent des harmoniques de courant ou de tension qui peuvent être représentés de manière simplifiée par des sources de courant ou de tension. Chaque type de convertisseur engendre un spectre de courant ou de tension typique. Le convertisseur associé à des éléments passifs tels que les transformateurs et les filtres, démontre un comportement de source et une impédance interne typique.

Tous les systèmes d'alimentation en énergie comportent des résonances, du fait de la résonance des lignes et câbles de transmission et du fait également des éléments de

filtres passifs. Cela débouche sur une amplification des harmoniques injectés par les convertisseurs dans le système d'alimentation d'énergie. Une amplification ou suppression partielle surviennent tant au niveau du convertisseur, en raison de l'impédance de la ligne vue du convertisseur qu'entre le point d'implantation du convertisseur et d'autres points du réseau. Cela consiste en un comportement de transfert de l'alimentation en énergie elle-même.

Une amplification de forts harmoniques peut engendrer des surtensions importantes, soit à l'emplacement du véhicule soit à un emplacement très différent dans le réseau.

Le système d'alimentation connaît des pointes de résonance liées à ses paramètres distribués – inductance et capacité par unité de longueur. Le comportement en résonance est modifié par la présence d'unités de traction. Ces pointes de résonance peuvent engendrer des courants et tensions résonants considérables. Le rapport entre courant maximal et courant minimal engendré le long de la ligne aérienne de contact à des fréquences spécifiques de résonance pourrait être supérieur à 100. Pour des véhicules à onduleur à quatre quadrants, les courants harmoniques au pantographe d'un véhicule peuvent presque tripler en raison de phénomènes de résonance dans le réseau d'alimentation.

#### c) Autres phénomènes

D'autres phénomènes techniques à prendre en considération pour la compatibilité des systèmes électriques entre l'alimentation en énergie et le matériel roulant, sont les suivants:

- croisements zéro multiples;
- pointes et creux de tension, transitoires;
- variation de phase de la tension d'alimentation;
- oscillations de fréquence basse.

Les effets suivants peuvent être pertinents sous l'angle des interférences conduites:

- glissement/dérapiage de roues;
- charge auxiliaire;
- incidents dynamiques;
- harmoniques provenant de l'onduleur auxiliaire;
- modulations générées par différents onduleurs;
- givre ou glace.

### 10.2 Procédure d'acceptation pour de nouveaux éléments

Une procédure d'acceptation doit être menée pour l'introduction de tout nouvel élément, comme indiqué en 3.24.

La compatibilité entre unités de traction existantes et infrastructure existante d'une part, et nouvel(nouveaux) élément(s) d'autre part, doit être vérifiée par rapport aux phénomènes décrits en 10.1.

Les organismes ou tierces parties concernés sont les suivants:

- le(s) propriétaire(s) de l'infrastructure existante ou le gestionnaire d'infrastructure;
- l'opérateur/les opérateurs du trafic existant;
- l'acquéreur/le propriétaire de nouvelle(s) unité(s) de traction ou de nouveaux constituants d'infrastructure;
- le fabricant de nouvelle(s) unité(s) de traction ou de nouveaux constituants d'infrastructure.

Une spécification générale couvrant le matériel roulant ou l'alimentation en énergie, qui évite l'apparition de surtensions dans toutes les situations, pourrait s'avérer très conservatrice et

impossible à mettre en œuvre. Un processus comparable à celui décrit en 10.3 doit donc être appliqué pour vérifier la compatibilité (étude de compatibilité).

### **10.3 Etude de compatibilité**

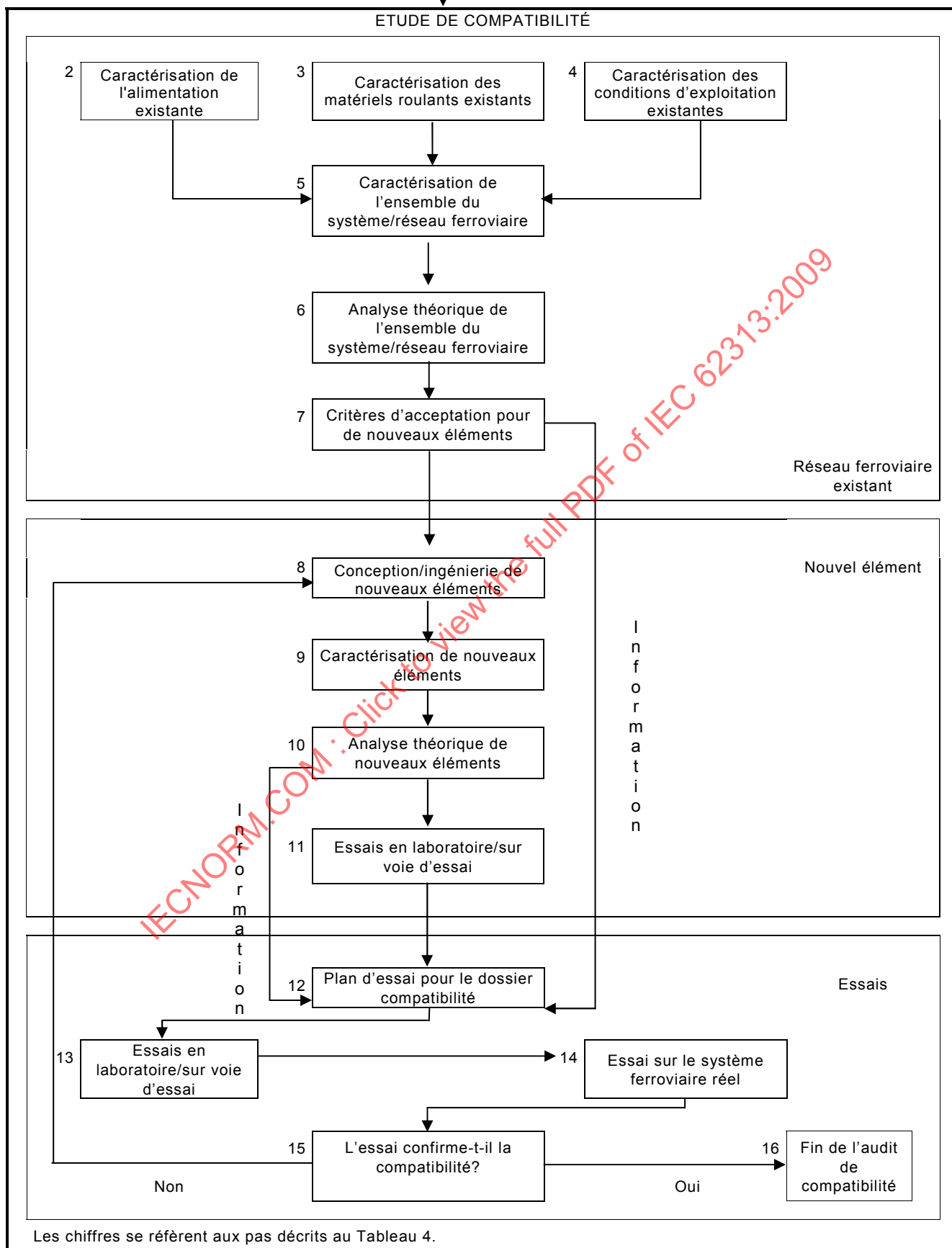
L'étude de compatibilité, ou du dossier compatibilité, est un processus servant à démontrer la compatibilité du nouveau matériel roulant ou du nouveau constituant d'infrastructure avec les unités de traction et le réseau d'alimentation existant. Ce processus est représenté à la Figure 2 et explicité au Tableau 4.

La quantité de travail à réaliser dépend du risque de l'intégration d'un nouvel élément dans l'optique des phénomènes décrits en 10.2. Si l'intégration – fondée sur des expériences intérieures – est sans risque, ceci doit être consigné dans le plan, ce qui constitue dans ce cas, le seul pas de travail dans le processus.

Le diagramme est applicable au matériel roulant ainsi qu'aux constituants du système d'alimentation.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62313:2009

## 1 Schéma de contrôle de compatibilité



**Figure 2 – Procédure pour l'étude de compatibilité des harmoniques et effet dynamiques**

**Tableau 4 – Description des pas**

| No                                                                      | Titre                                                         | Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Responsable                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 <sup>a</sup>                                                          | Schéma de contrôle de compatibilité                           | Le schéma de contrôle spécifique de compatibilité, lors de l'introduction d'un nouvel élément dans un système ferroviaire existant définit la portée de l'analyse, les tâches et les responsabilités précises. Il doit faire l'objet d'un accord entre toutes les parties concernées.<br><br>Nomination de l'organisation chargée du contrôle de la compatibilité | Organisation chargée du contrôle de compatibilité,<br><br>Doit faire l'objet d'un accord entre les parties définies en 10.2 |
| 2                                                                       | Caractérisation de l'alimentation existante                   | Système d'alimentation en courant, informations utiles concernant la compatibilité avec les véhicules (voir Tableaux D.1 et D.2).<br><br>Schéma normal d'alimentation et schémas d'alimentation en situation d'urgence                                                                                                                                            | Gestionnaire d'infrastructure                                                                                               |
| 3                                                                       | Caractérisation des matériels roulants existants              | Caractéristiques des véhicules déjà en circulation sur le réseau; information utiles concernant la compatibilité avec l'alimentation en énergie (voir Tableaux D.3 et D.4)                                                                                                                                                                                        | Opérateur/propriétaire du matériel roulant                                                                                  |
| 4                                                                       | Caractérisation des conditions d'exploitation existantes      | Informations concernant le fonctionnement du système existant, nombre de trains en circulation, horaires typiques, dispositions d'alimentation normales, dispositions d'alimentation d'urgence                                                                                                                                                                    | Gestionnaire d'infrastructure                                                                                               |
| 5                                                                       | Caractérisation de l'ensemble du système/réseau ferroviaire   | Il s'agit d'une combinaison des informations des pas 2, 3 et 4. La définition de différents scénarios peut se révéler nécessaire                                                                                                                                                                                                                                  | Gestionnaire d'infrastructure                                                                                               |
| 6                                                                       | Analyse théorique de l'ensemble du système/réseau ferroviaire | Examen des aspects de compatibilité pour différents scénarios. Première étape: confirmer la compatibilité du système existant. Deuxième étape: tester de nouveaux éléments potentiels, vérifier les caractéristiques nécessaires pour que ces éléments préservent la compatibilité du système                                                                     | Gestionnaire d'infrastructure                                                                                               |
| 7                                                                       | Critères d'acceptation pour de nouveaux éléments              | L'examen théorique visé au pas 6 porte sur des critères d'acceptation spécifiques pour de nouveaux éléments. Les critères d'acceptation spécifiques doivent être compréhensibles et mesurables lors de la conception de l'expérimentation du nouvel élément. A l'avenir, ces critères doivent être établis sous une forme identique pour tous les réseaux         | Gestionnaire d'infrastructure                                                                                               |
| 8                                                                       | Conception/ingénierie de nouveaux éléments                    | Conception de nouveaux éléments en tenant compte également des critères d'acceptation définis au pas 7                                                                                                                                                                                                                                                            | Fabricant du nouvel élément                                                                                                 |
| 9                                                                       | Caractérisation de nouveaux éléments                          | Le nouvel élément doit être caractérisé par rapport à sa compatibilité avec d'autres véhicules et constituants du système d'alimentation en énergie. Ce modèle après validation prévue au pas 15, doit permettre une adaptation de la caractérisation du réseau ferroviaire existant sur la base exigée aux pas 2 et 3                                            | Fabricant du nouvel élément                                                                                                 |
| 10                                                                      | Analyse théorique de nouveaux éléments                        | Dans la phase initiale de la conception, une analyse théorique doit être effectuée, par exemple, en utilisant des modèles informatiques, pour vérifier que le nouvel élément répond effectivement aux critères d'acceptation                                                                                                                                      | Fabricant du nouvel élément                                                                                                 |
| <sup>a</sup> La signification de « nouvel élément » est donnée en 3.24. |                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                             |

Tableau 4 (suite)

| No                                                                                                           | Titre                                       | Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Responsable                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 11                                                                                                           | Essais en laboratoire/sur voie d'essai      | Après fabrication, le premier élément (véhicule ou constituant du système d'alimentation en énergie), est essayé en laboratoire ou sur voie d'essai pour vérifier qu'il remplit les critères d'acceptation conformément à l'analyse théorique visée au pas 10. Cette série d'essais constitue un essai de type du nouvel élément                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Fabricant du nouvel élément                                             |
| 12 <sup>b</sup>                                                                                              | Plan d'essai pour le dossier compatibilité  | Un plan est établi pour définir les essais destinés à confirmer dans toute la mesure du possible:<br><br>que le nouvel élément remplit les critères d'acceptation;<br><br>que les critères d'acceptabilité de la norme sont suffisants pour garantir la compatibilité et être sûr que l'essai reflète la réalité.<br><br>Les essais doivent démontrer également l'exactitude des simulations effectuées au pas 10 et doivent être limités aux cas critiques                                                                                                                                                                            | Organisation chargée du dossier compatibilité<br><br>A définir au pas 1 |
| 13 <sup>b</sup>                                                                                              | Essais en laboratoire/sur voie d'essai      | Les essais doivent être réalisés en laboratoire ou sur voie d'essai. Ces essais doivent démontrer que les critères d'acceptation sont remplis. Le non-respect de critères d'acceptation entraîne une nécessaire modification de la conception du nouvel élément par le fabricant. Cette série d'essais constitue un essai de type du nouvel élément.<br><br>Les essais doivent démontrer également l'exactitude des simulations effectuées au pas 10 et doivent être limités aux cas critiques                                                                                                                                         | Organisation chargée du dossier compatibilité                           |
| 14                                                                                                           | Essais sur le système ferroviaire réel      | Des essais sur le système ferroviaire réel doivent apporter la preuve que les critères d'acceptation sont suffisants pour garantir la compatibilité dans le système après introduction de nouveaux éléments. Si ces essais révèlent l'existence de problèmes de compatibilité même si le nouvel élément remplit les critères d'acceptation, cela signifie que les critères d'acceptation n'étaient pas suffisants.<br><br>Cette série d'essais constitue un essai de type du nouvel élément.<br><br>Les essais doivent démontrer également l'exactitude des simulations effectuées au pas 10 et doivent être limités aux cas critiques | Organisation chargée du dossier compatibilité                           |
| 15                                                                                                           | Les essais confirment-ils la compatibilité? | Si les résultats des deux séries d'essais sont probants, alors la démonstration aura été faite que le nouvel élément est compatible avec le système existant. Ceci doit être consigné dans un rapport sur la compatibilité                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Organisation chargée du dossier compatibilité                           |
| 16 <sup>c</sup>                                                                                              | Fin de l'audit de compatibilité             | Dès approbation du dossier de compatibilité, le nouvel élément devient une partie intégrante du système ferroviaire existant. La responsabilité vis-à-vis de sa compatibilité n'incombe alors plus au fournisseur du nouvel élément                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Gestionnaire d'infrastructure                                           |
| <sup>b</sup> Le plan d'essais définira s'il convient d'exécuter les deux pas 13 et 14, ou si un seul suffit. |                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                         |
| <sup>c</sup> Vu sous l'angle de la compatibilité.                                                            |                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                         |

L'ensemble de ce plan se concrétise par l'établissement d'un document décrivant l'analyse théorique et démontrant, à la faveur des mesures effectuées, que les véhicules et l'infrastructure sont effectivement compatibles en termes de courants parasites conduits et de stabilité.

#### 10.4 Méthodologie et critères d'acceptation

Le critère global d'acceptation vis-à-vis des surtensions et de la stabilité est qu'aucune surtension d'une valeur supérieure à 30 kV crête pour les réseaux 15 kV – 16,7 Hz, 40 kV crête pour les réseaux 20 kV – 50/60 Hz et 50 kV crête pour les réseaux 25 kV – 50/60 Hz n'apparaisse sur la ligne aérienne de contact en n'importe quel point du réseau d'alimentation, avec une tension  $U$  définie dans la CEI 60850 inférieure ou égale à  $U_{\max 2}$ . Cette valeur est la valeur crête de la forme d'onde déformée de la tension.

Ce critère global d'acceptation peut toujours être appliqué.

Par le fait que le critère global d'acceptation puisse être appliqué seulement à un système complet d'alimentation en énergie en y incluant le(s) nouvel(eaux) élément(s), il est avantageux de donner des directives de conception pour le(s) nouvel(eaux) élément(s) qui réduisent le risque de défaillance dans l'étude de compatibilité.

### 11 Coordination des protections

#### 11.1 Généralités

La compatibilité des systèmes de protection entre les unités de traction et les sous-stations doit être vérifiée.

#### 11.2 Protection contre les courts-circuits

Le pouvoir de coupure du disjoncteur pour un système d'alimentation en particulier va déterminer si le disjoncteur de l'unité de traction peut ou non éliminer les défauts.

L'Annexe informative G contient le Tableau G.1 qui fixe le niveau maximal de court-circuit ligne de contact/rails en tant que pratique européenne.

Le Tableau 5 décrit les actions des disjoncteurs en cas de défauts internes à l'unité de traction.

**Tableau 5 – Action sur les disjoncteurs en cas de défaut interne dans une unité de traction**

| Système d'alimentation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | En cas de défaut interne dans les unités de traction |                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Séquence de déclenchement du:                        |                                                                                                                                                                         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Disjoncteur de l'alimentation de la sous-station     | Disjoncteur de l'unité de traction                                                                                                                                      |
| 20 000 V et 25 000 V - 50/60 Hz courant alternatif                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Déclenchement immédiat <sup>a</sup>                  | Déclenchement immédiat                                                                                                                                                  |
| 15 000 V - 16,7 Hz courant alternatif                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Déclenchement immédiat <sup>a</sup>                  | <u>Côté primaire du transformateur:</u><br>Le déclenchement doit être temporisé <sup>c</sup><br><br><u>Côté secondaire du transformateur:</u><br>Déclenchement immédiat |
| 750 V, 1 500 V, 3 000 V courant continu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Déclenchement immédiat <sup>b</sup>                  | Déclenchement immédiat                                                                                                                                                  |
| <p><sup>a</sup> Il convient que le déclenchement du disjoncteur soit très rapide pour les courants de court-circuit de valeur élevée. Il convient autant que possible, que le disjoncteur de l'unité de traction se déclenche afin d'éviter le déclenchement du disjoncteur de la sous-station.</p> <p><sup>b</sup> Lorsque la valeur du courant de court-circuit est très élevée, il convient que le déclenchement des disjoncteurs des sous-stations soit très rapide. De ce fait, les défauts sur les unités de traction ne sont pas éliminés par l'action de leur disjoncteur.</p> <p><sup>c</sup> Si le pouvoir de coupure du disjoncteur le permet, alors le déclenchement est immédiat. Alors, il convient autant que possible, que le disjoncteur de l'unité de traction se déclenche afin d'éviter le déclenchement du disjoncteur de la sous-station.</p> |                                                      |                                                                                                                                                                         |

NOTE Il convient que les unités de traction modernes soient équipées d'un disjoncteur rapide capable de couper les courants de court-circuit en un minimum de temps.

### 11.3 Coordination des disjoncteurs sur la perte de tension de ligne et rétablissement de l'alimentation

Il existe deux types de coordination des disjoncteurs sur la perte de tension de ligne et rétablissement de l'alimentation

- a) associés avec la manœuvre de fermeture/d'ouverture des disjoncteurs de l'unité de traction
- b) non associés avec la manœuvre de fermeture/d'ouverture des disjoncteurs de l'unité de traction

Le choix entre a) et b) doit être effectué en se fondant sur un accord entre les organismes concernés.

Les exigences de la conception de l'infrastructure et du matériel roulant sont:

- a) Avec la manœuvre de fermeture/d'ouverture des disjoncteurs de l'unité de traction  
Les disjoncteurs des unités de traction doivent se déclencher automatiquement dans les 3 s qui suivent la perte de la tension de ligne.  
Si les systèmes de ré-enclenchement automatique équipent les disjoncteurs de la sous-station, les disjoncteurs de la sous-station ne peuvent se refermer qu'après le déclenchement des disjoncteurs des unités de traction présents dans la zone alimentée par la sous-station.  
Au moment du rétablissement de l'alimentation, le disjoncteur de l'unité de traction ne doit pas se refermer dans les 3 s après le rétablissement de l'alimentation de la ligne.
- b) Sans la manœuvre de fermeture/d'ouverture des disjoncteurs de l'unité de traction  
A la détection de la perte de la tension de ligne, l'unité de traction doit être immédiatement arrêtée (par exemple, arrêt de la sortie du signal de gâchette pour les convertisseurs, ouverture des contacteurs du côté secondaire des disjoncteurs de l'unité

de traction). Le déclenchement du disjoncteur de l'unité de traction n'est pas nécessaire, à moins qu'un défaut interne ne se produise dans les unités de traction.

Si les systèmes de ré-enclenchement automatique équipent les disjoncteurs de la sous-station, les disjoncteurs de la sous-station doivent se refermer immédiatement, le cas échéant, après le déclenchement des disjoncteurs des unités de traction défectueuses.

Au moment du rétablissement de l'alimentation, l'unité de traction doit être en mesure de redémarrer immédiatement après le rétablissement de l'alimentation de la ligne.

Les notes suivantes concernent les deux possibilités:

NOTE 1 Voir la CEI 60850, 4.1, Note 2 pour la détection de la perte de tension de ligne.

NOTE 2 Le laps de temps qui s'écoule au moment du rétablissement de l'alimentation permet de tester la ligne pour détecter les courts-circuits persistants.

NOTE 3 Si des disjoncteurs doivent être refermés dans plus d'une sous-station, une coordination du séquençage de refermeture entre les sous-stations peut être nécessaire.

#### **11.4 Systèmes d'électrification en courant continu: courant transitoire à la fermeture du disjoncteur**

Cette disposition s'applique uniquement aux unités de traction à courant continu munies d'un filtre d'entrée.

Lorsque le disjoncteur d'une unité de traction se referme, avec un filtre d'entrée (s'il en existe), il convient que le transitoire de courant ne provoque pas inutilement le déclenchement des dispositifs de protection des sous-stations. Les informations utiles (par exemple, les valeurs  $di/dt$  et/ou de crête autorisées pour le courant transitoire), à prendre en compte pour la conception des filtres embarqués sont à obtenir auprès des gestionnaires d'infrastructure concernés.

L'Annexe informative H contient le Tableau H.1 qui établit les valeurs pour la dérivée  $di/dt$  du courant transitoire lors de la fermeture du disjoncteur de l'unité de traction, en tant que pratique européenne.

#### **11.5 Critère d'acceptation**

Les unités de tractions doivent être conçues conformément aux exigences

- du Tableau 5;
- des 11.3 et 11.4 (pour le courant continu).

Le système d'électrification doit garantir que l'alimentation en énergie électrique est conforme à l'exigence de 11.3.

Le cas échéant, le système d'essai de ligne doit satisfaire aux exigences de 11.3.

### **12 Freinage par récupération**

#### **12.1 Conditions générales relatives à l'utilisation du freinage par récupération**

##### **12.1.1 Conditions relatives aux unités de traction**

Les trains doivent interrompre le freinage par récupération dans les conditions suivantes:

- en cas de perte de tension d'alimentation ou de court-circuit entre la ligne de contact et le rail ou la terre sur la même section alimentée par la sous-station;
- si la ligne de contact n'absorbe pas d'énergie;

- si la tension de ligne est supérieure à  $U_{\max 2}$  (voir la CEI 60850, 4.1).

Si l'énergie renvoyée n'est pas absorbée par d'autres consommateurs, le matériel roulant doit revenir aux autres systèmes de freinage.

NOTE Si l'énergie récupérée est à peu près du même niveau que la charge de traction d'un autre matériel roulant, le matériel roulant par récupération peut ne pas être en mesure de détecter la perte de tension de ligne et continuer à utiliser le freinage par récupération.

### 12.1.2 Conditions relatives au système d'alimentation en énergie

Pour les lignes à Grande Vitesse en courant alternatif, le système d'alimentation en énergie doit être conçu de façon à ce que le freinage par récupération puisse être utilisé pour le freinage de service et être en mesure d'échanger de la puissance en continu soit avec d'autres trains soit par tout autre moyen. Les dispositifs de commande et de protection des sous-stations du système d'alimentation doivent permettre le freinage par récupération.

Pour les lignes Conventionnelles, les systèmes d'alimentation en énergie peuvent être conçus de façon à ce que le freinage par récupération puisse être utilisé pour le freinage de service et être en mesure d'échanger de la puissance en continu soit avec d'autres trains soit par tout autre moyen. Les dispositifs de commande et de protection des sous-stations du système d'alimentation peuvent alors permettre le freinage par récupération.

### 12.2 Critère d'acceptation

Les unités de traction doivent satisfaire aux exigences du 12.1.1.

## 13 Essais

Les essais donnés dans le Tableau 6 sont applicables si les exigences techniques du Tableau 6 sont appliquées.

**Tableau 6 – Essais**

| Titre                                          | Exigence technique article | Unité de traction | Installations fixes | Méthodologie d'essais article |
|------------------------------------------------|----------------------------|-------------------|---------------------|-------------------------------|
| Sections de séparation                         | 5                          | X                 | X                   | 14.1                          |
| Facteur de puissance d'un train                | 6, Tableau 1               | X                 |                     | 14.2                          |
| Limitation du courant absorbé par un train     | 7                          | X                 |                     | 14.3                          |
| Indice de qualité de l'alimentation en énergie | 8                          |                   | X                   | 14.4                          |
| Harmoniques et effets dynamiques               | 10                         | X                 | X                   | 14.5                          |
| Coordination des protections                   | 11                         | X                 | X                   | 14.6                          |
| Freinage par récupération                      | 12                         | X                 | X                   | 14.7                          |

## 14 Méthodologie d'essai

### 14.1 Sections neutres

#### 14.1.1 Essais des unités de traction

Durant la phase de conception, la conformité aux exigences fonctionnelles décrites en 5.1 et 5.2 doit être démontrée par la vérification des schémas électriques, aux niveaux de la tension de traction et du contrôle commande.

Essai de type:

La conformité avec les séquences décrites en 5.1 et 5.2 doit être démontrée par la vérification des diagrammes de contrôle commande de l'unité de traction pendant la phase de conception.

Essai individuel de série:

Les essais, sur une ligne dont l'infrastructure est équipée pour fournir les signaux de contrôle à l'unité de traction, doivent être menés pour démontrer la conformité aux séquences décrites en 5.1 et 5.2.

#### **14.1.2 Essais de l'infrastructure**

Durant la phase de conception, la conformité aux exigences fonctionnelles décrites en 5.1 et 5.2 doit être démontrée par la vérification des schémas électriques, aux niveaux de la tension de traction et du contrôle commande.

#### **14.2 Facteur de puissance**

Essai de type pour les unités de traction.

Lors de la phase de validation de l'unité de traction, des mesures en lignes sont menées correspondant à tout point de la courbe effort de traction-vitesse. La puissance absorbée, y compris celle des auxiliaires, les modes de traction ou de freinage doivent être enregistrés. On doit obtenir un nombre suffisant de données dans le but de vérifier les valeurs du Tableau 1.

Les valeurs du facteur de puissance doivent être vérifiées à bord du train, avec un système d'alimentation en énergie ne limitant pas la performance du train. Les résultats des mesures en ligne doivent être conformes aux valeurs de 6.2 et 6.3.

#### **14.3 Limitation du courant absorbé par un train**

Durant la phase de conception, la conformité aux exigences fonctionnelles décrites en 7.2 et 7.3 doit être démontrée par la vérification des schémas électriques, aux niveaux de la tension de traction et du contrôle commande.

Essai de type pour les unités de traction:

Les essais et vérification doivent être réalisés:

- lors de la phase de conception, en vérifiant la fonctionnalité du contrôle-commande de l'unité de traction;
- lors de la phase de validation, par des mesures en ligne. Si cela est nécessaire, la mise hors-service d'une sous-station peut être réalisée pour obtenir une basse tension de ligne aérienne.

Les résultats des mesures en ligne doivent être conformes aux exigences des 7.2 et 7.3.

## 14.4 Indice de qualité de l'alimentation en énergie

### 14.4.1 $U_{\text{moyen utile}}$ (zone)

| Quoi                                                                               | Quand                   | Comment                                                                                                                       | Condition d'acceptation                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Simulation</b><br><br>Sur une zone définie du système d'alimentation en énergie | Après chaque simulation | A l'aide des résultats de simulation des trains dans la zone en question, en basant le calcul sur la définition donnée en 8.2 | La valeur est supérieure aux valeurs indiquées dans la colonne «zone et train» correspondante du Tableau 4 |

### 14.4.2 $U_{\text{moyen utile}}$ (train)

| Quoi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Quand                                                          | Comment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Condition d'acceptation                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Simulation</b><br><br>Pour un train spécifique du graphique de simulation – généralement le train de référence dit dimensionnant.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | A la suite de simulations.                                     | A l'aide des résultats de simulation du train, en basant le calcul sur la définition donnée en 8.2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | La valeur est supérieure à la valeur indiquée dans la colonne «zone et train» correspondante du Tableau 4                                                                                                                                                       |
| <b>Mesure ponctuelle</b><br><br>A bord de l'unité de traction.<br><br>Cette mesure est réalisée dans le contexte du trafic indiqué dans l'Article 9. La mesure est effectuée sur un train critique ou dimensionnant du graphique de simulation.<br><br>Il convient de réaliser plusieurs mesures sur le même train, dans le but de vérifier la convergence des résultats et leur validité.<br><br>Autant que possible, l'horaire de référence est celui utilisé pour la simulation. Dans le cas contraire, une nouvelle simulation avec l'horaire réel est faite<br><br>NOTE Ces mesures pourraient par exemple, être réalisées jour après jour | En réaction à des problèmes ou pour des besoins de validation. | Enregistreur de tension pour la fréquence fondamentale ou enregistreurs automatiques de données numériques disposant d'une gamme de fréquences supérieure ou égale à 2 kHz. Calcul des moyennes sur une durée de 1 s.<br><br>période de mesure: période de traction du train<br><br>calcul à réaliser avec la formule ci-après.<br><br>A partir des données enregistrées, les valeurs ou courbes suivantes sont à calculer:<br><br>La courbe de tension en fonction du temps<br><br><br>La valeur moyenne $U_m$ exprimée: où:<br><br>$U_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i$<br><br>$N$ est le nombre de pas temporels de mesure en période de traction.<br><br>Cette formule n'est utilisée que pour les séquences de traction | La valeur $U_m$ est supérieure aux valeurs indiquées dans la colonne «zone et train» correspondante du Tableau 4. Vérifier que les valeurs enregistrées (valeur moyenne ou efficace) de la tension au pantographe ne sont pas inférieures à $U_{\text{min1}}$ . |

### 14.4.3 Relation entre $U_{\text{moyen utile}}$ et $U_{\text{min1}}$

| Quoi       | Quand                   | Comment                                                                                                                                                                                         | Condition d'acceptation                                                                                                  |
|------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Simulation | Après chaque simulation | A l'aide des résultats de simulation de chaque train considéré dans la zone, l'essai n'est effectué que si $U_{\text{moyen utile}}$ au pantographe est supérieure aux valeurs indiquées en 8.3. | Vérifier que la tension au pantographe de chaque train n'est jamais inférieure à $U_{\text{min1}}$ comme indiqué en 8.4. |

## 14.5 Harmoniques et effets dynamiques

Pour cette vérification, toutes les informations nécessaires sont données en 10.3 et 10.4.

Les essais doivent démontrer également l'exactitude des simulations effectuées au pas 10 et doivent être limités aux cas critiques.

Le système d'instrumentation utilisé pour l'enregistrement de la valeur crête de la forme d'onde de la tension avec distorsion, doit avoir une gamme de fréquences adaptée. La valeur efficace de la tension à la fréquence industrielle doit être également enregistrée en parallèle avec celle de la valeur crête de la forme d'onde de la tension avec distorsion.

## 14.6 Coordination des protections

### 14.6.1 Protection vis-à-vis des court circuits et action sur les disjoncteurs

Les conséquences logiques de la manœuvre d'ouverture du disjoncteur de l'unité de traction doivent être vérifiées:

- dès la phase de conception par la vérification des schémas électriques fonctionnels de l'unité de traction;
- en réaction à des problèmes ou pour la validation de l'unité de traction lorsqu'elle est en service. On procède alors à la mise en œuvre d'un essai de court circuit à bord de l'unité de traction et on vérifie que, en accord avec le Tableau 8, les différents disjoncteurs se déclenchent dans l'ordre correct.

### 14.6.2 Coordination des disjoncteurs sur la perte de tension de ligne et rétablissement de l'alimentation

Essai à réaliser dans toute nouvelle sous-station.

Lorsque les essais avant mise en service sont réalisés, les exigences du 11.3 doivent être vérifiées.

Le cas échéant, le système d'essai de ligne doit effectuer la séquence d'essai en un temps spécifié.

Essai pour unité de traction:

Lors de la phase de conception d'une unité de traction, les exigences du 11.3 doivent être vérifiées par la contrôle des schémas électriques.

Essai individuel de série:

Des essais en ligne doivent montrer la conformité aux exigences du 11.3.

### 14.6.3 Unités de tractions à courant continu: Courant transitoire à la fermeture du disjoncteur

- Lors de la phase de conception, les exigences du 11.4 doivent être vérifiées en contrôlant la conception des schémas électriques de l'unité de traction.
- Essai de type pour unité de traction:
- Lors de la phase d'essais en ligne, l'unité de traction doit réaliser la séquence d'essais suivante:
  - a) vérifier que le filtre embarqué est déchargé;
  - b) fermer le disjoncteur principal et enregistrer la forme d'onde du courant le traversant.
- Les caractéristiques de ce courant transitoire à la fermeture du disjoncteur doivent être en conformité avec les valeurs admissibles obtenues en 11.4 et à l'Annexe H.

## 14.7 Freinage par récupération

### 14.7.1 Unité de traction

Lors de la phase de conception, la conformité aux exigences du 12.1.1 concernant le contrôle commande de l'unité de traction doit être vérifiée.

Essai de type et essai individuel de série

Avant la mise en service, la conformité aux exigences du 12.1.1 doit être vérifiée selon l'Article 9 de la CEI 61133.

De ce fait, pendant les essais en ligne, (que ce soit une ligne exploitée ou une ligne d'essai), la ligne de contact doit être mise sous ou hors tension depuis la sous-station.

Les essais en lignes doivent démontrer que, durant le régime de freinage de l'unité de traction, la valeur de la tension au pantographe n'excède pas  $U_{\max 2}$ .

### 14.7.2 Sous-station

Les dispositifs de commande et de protection des sous-stations doivent autoriser le renvoi d'énergie au réseau d'alimentation et/ou à l'appareil d'absorption d'énergie. L'analyse des schémas de raccordement permet l'évaluation.

Si cela est nécessaire, des essais combinés doivent être entrepris pour vérifier le fonctionnement correct des protections de la sous-station avec une unité de traction en ligne en phase de freinage par récupération.

## Annexe A (informative)

### Périodes d'intégration sur lesquelles les paramètres peuvent être moyennés

#### A.1 Généralités

Les opérateurs ferroviaires ou les gestionnaires d'infrastructure utilisent des paramètres pour

- leur calculs informatiques de dimensionnement;
- les calculs de réglage de protection;
- la planification;
- etc.

Ils ne sont efficaces que s'ils sont moyennés sur un laps de temps précisément définis. L'objet de cette Annexe est de donner la définition des périodes sur lesquelles ces paramètres sont référencés avec le but d'être capable d'effectuer de simples comparaisons entre ces différents paramètres pour les différentes portions d'un seul réseau ferroviaire ou pour des réseaux différents.

#### A.2 Périodes de temps de référence sur lesquelles les paramètres peuvent être moyennés ou intégrés

**Tableau A.1 – Période d'intégration**

| Fonction                                         | Durée                                                                                  | Commentaires                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Protection                                       | Courant alternatif: < 100 ms jusqu'à 300 ms<br>Courant continu: < 30 ms jusqu'à 100 ms | Elimination de défauts shunts en fonction de l'intensité du courant de court-circuit                                                                                                                                   |
| Protection de secours                            | 200 ms à 3 s                                                                           | Elimination du défaut pour la protection de secours                                                                                                                                                                    |
| Courant de pointe de charge                      | 1 s à 5 s                                                                              | Aux points d'alimentation et surcharge de ligne de contact aérienne. Utilisable pour les simulations informatiques, effet sur les schémas d'alimentation et vérification du fonctionnement de la protection de secours |
|                                                  | 1 min                                                                                  | Courant efficace moyen pour le calcul du courant thermique en charge sur l'appareil                                                                                                                                    |
| Surcharge thermique                              | 30 s à 20 min<br>valeur préférée: 10 min                                               | Courant efficace moyen pour le calcul du courant thermique en charge sur l'appareil                                                                                                                                    |
| Période du compteur de tarification de l'énergie | 10 min, 15 min ou 30 min                                                               | Courant ou puissance moyen pour la définition de la demande à l'autorité de fourniture d'énergie                                                                                                                       |
| Charge de longue durée                           | 1 h , 2 h                                                                              | Paramètre conventionnel pour définir la charge ferroviaire sur le long terme                                                                                                                                           |
| Consommation d'énergie                           | 1 jour, 1 semaine, 1 mois, 1 année                                                     | Consommation moyenne d'énergie, utilisée par les fournisseurs d'énergie par exemple pour étudier les exigences de fournitures au chemin de fer ou pour l'achat d'énergie                                               |

## **Annexe B** (informative)

### **Critères de choix déterminant la tension au pantographe des trains à grande vitesse**

L'objet d'une étude de dimensionnement est de définir les caractéristiques des installations fixes.

Ces installations doivent permettre de satisfaire aux conditions les plus sévères, comme spécifié dans la grille horaire, en prenant en compte:

- la période d'exploitation la plus dense de la grille horaire, correspondant au trafic de pointe;
- les caractéristiques des différents types de trains concernés, avec les unités de traction appropriées.

Les installations fixes de traction électrique peuvent être conçues par simulation de la grille horaire critique en prenant en compte la puissance absorbée par chaque train dans la simulation à chaque intervalle de temps. Au-delà de ce qui touche au dimensionnement des équipements (transformateurs, lignes aériennes, autotransformateurs par exemple en  $2 \times 25$  kV et convertisseurs pour le courant continu) et à la compatibilité avec la performance apparente tolérée aux points de branchements à la haute tension, la qualité de l'alimentation en énergie constitue un paramètre qualifiant important pour le schéma d'alimentation étudié.

La courbe caractéristique effort de traction/vitesse d'une unité de traction varie en fonction de la tension au pantographe. L'enveloppe de la courbe caractéristique effort de traction/vitesse sous tension réduite est déterminée par rapport à la courbe caractéristique nominale par extrapolation sur la gamme de vitesse, le coefficient de proportionnalité étant légèrement inférieur au rapport des tensions au pantographe et tension nominale ( $U_{\text{pantographe}}/U_{\text{nominale}}$ ).

Il convient que les valeurs de tension obtenues permettent d'atteindre les niveaux de performance souhaités. Pour étudier, par exemple, l'électrification en 25 kV, le choix d'une tension d'au moins 22,5 kV permet, statistiquement, de ne pas tomber en dessous du seuil minimal de 19 kV. Des tensions inférieures à 19 kV sont possibles durant des périodes de circulation perturbée, notamment avec un espacement réduit des circulations, ou dans des situations spéciales n'apparaissant pas toujours dans les simulations (coïncidence de batteries de trains dans les sens 1 et 2).

Il convient d'évaluer l'incidence des situations à performances dégradées, sur les deux plans du schéma d'alimentation et de la grille d'exploitation, compte tenu des pertes de performance admissibles.

Le choix de la bonne tension moyenne utile présente les avantages suivants:

- a) il permet aux unités de traction de fonctionner au plus près de leur tension nominale (ce qui optimise le rendement et les performances);
- b) il garantit le respect des valeurs de tension minimales, spécifiées dans les normes;
- c) il reflète le fait que les installations fixes de traction électrique ont les capacités correctes et que, en conséquence, des volumes de trafic plus importants peuvent être envisagés;
- d) il permet de traiter certaines conditions de trafic dégradées.