

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

---

**Railway applications – Rolling stock – Combined test method for traction systems**

**Applications ferroviaires – Matériel roulant – Méthode d'essais combinés pour systèmes de traction**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

Tel.: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

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

### About IEC publications

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

#### IEC Catalogue - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)

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

#### IEC publications search - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

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

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

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

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

#### IEC Glossary - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

#### IEC Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

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

---

### A propos de l'IEC

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

### A propos des publications IEC

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

#### Catalogue IEC - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)

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

#### Recherche de publications IEC - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

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

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

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

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

#### Glossaire IEC - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

#### Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

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

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

---

**Railway applications – Rolling stock – Combined test method for traction systems**

**Applications ferroviaires – Matériel roulant – Méthode d'essais combinés pour systèmes de traction**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

---

ICS 45.060

ISBN 978-2-8322-3101-2

|                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.</b></p> <p><b>Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.</b></p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## CONTENTS

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                      | 6  |
| 1 Scope.....                                       | 8  |
| 2 Normative references .....                       | 10 |
| 3 Terms and definitions .....                      | 10 |
| 4 Traction system characteristics.....             | 12 |
| 5 General test requirements .....                  | 13 |
| 6 General test conditions.....                     | 14 |
| 6.1 Test setup.....                                | 14 |
| 6.1.1 Setup of traction system under test.....     | 14 |
| 6.1.2 Test bench architecture .....                | 15 |
| 6.2 Cooling during the test.....                   | 17 |
| 6.3 Mechanical output measurement.....             | 18 |
| 6.3.1 General .....                                | 18 |
| 6.3.2 Summation of losses method .....             | 18 |
| 6.3.3 Comparison of power method .....             | 19 |
| 6.3.4 Comparison of current method.....            | 20 |
| 6.3.5 Back to back method .....                    | 21 |
| 6.4 Tolerances and measuring accuracy .....        | 21 |
| 6.5 Environmental conditions .....                 | 21 |
| 7 Torque characteristic test .....                 | 22 |
| 7.1 General.....                                   | 22 |
| 7.2 Torque characteristics test at motor hot ..... | 22 |
| 7.2.1 Test objective .....                         | 22 |
| 7.2.2 Test conditions .....                        | 22 |
| 7.2.3 Test procedure .....                         | 23 |
| 7.2.4 Acceptance criteria .....                    | 23 |
| 7.3 Torque characteristics test at motor cold..... | 23 |
| 7.3.1 Test objective .....                         | 23 |
| 7.3.2 Test conditions .....                        | 23 |
| 7.3.3 Test procedure .....                         | 24 |
| 7.3.4 Acceptance criteria .....                    | 24 |
| 7.4 Starting torque at zero speed.....             | 24 |
| 7.4.1 Test objective .....                         | 24 |
| 7.4.2 Test conditions .....                        | 24 |
| 7.4.3 Test procedure .....                         | 24 |
| 7.4.4 Acceptance criteria .....                    | 24 |
| 8 Efficiency and energy consumption test.....      | 24 |
| 8.1 General.....                                   | 24 |
| 8.2 Efficiency characteristics .....               | 25 |
| 8.2.1 Test objective .....                         | 25 |
| 8.2.2 Test conditions .....                        | 25 |
| 8.2.3 Test procedure .....                         | 25 |
| 8.2.4 Acceptance criteria .....                    | 25 |
| 8.3 Energy consumption on route profile .....      | 26 |
| 8.3.1 Test objective .....                         | 26 |

|        |                                                                               |    |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8.3.2  | Test conditions .....                                                         | 26 |
| 8.3.3  | Test procedure .....                                                          | 26 |
| 8.3.4  | Acceptance criteria .....                                                     | 26 |
| 9      | Temperature rise test .....                                                   | 27 |
| 9.1    | General.....                                                                  | 27 |
| 9.2    | Temperature rise test at constant load .....                                  | 27 |
| 9.2.1  | Test objective .....                                                          | 27 |
| 9.2.2  | Test conditions .....                                                         | 27 |
| 9.2.3  | Test procedure .....                                                          | 27 |
| 9.2.4  | Acceptance criteria .....                                                     | 28 |
| 9.3    | Temperature rise on route profile .....                                       | 28 |
| 9.3.1  | Test objective .....                                                          | 28 |
| 9.3.2  | Test conditions .....                                                         | 28 |
| 9.3.3  | Test procedure .....                                                          | 28 |
| 9.3.4  | Acceptance criteria .....                                                     | 28 |
| 9.4    | Test with wheel diameter differences for paralleled asynchronous motors ..... | 29 |
| 9.4.1  | General .....                                                                 | 29 |
| 9.4.2  | Test objective .....                                                          | 29 |
| 9.4.3  | Test conditions .....                                                         | 29 |
| 9.4.4  | Test procedure .....                                                          | 30 |
| 10     | System function test .....                                                    | 31 |
| 10.1   | Start from backward/reverse motion .....                                      | 31 |
| 10.1.1 | Test objective .....                                                          | 31 |
| 10.1.2 | Test conditions .....                                                         | 31 |
| 10.1.3 | Test procedure .....                                                          | 31 |
| 10.1.4 | Acceptance criteria .....                                                     | 31 |
| 10.2   | Motoring-braking transition.....                                              | 31 |
| 10.2.1 | Test objective .....                                                          | 31 |
| 10.2.2 | Test conditions .....                                                         | 31 |
| 10.2.3 | Test procedure .....                                                          | 32 |
| 10.2.4 | Acceptance criteria .....                                                     | 32 |
| 11     | Variation of line voltage .....                                               | 32 |
| 11.1   | Test objective .....                                                          | 32 |
| 11.2   | Test conditions .....                                                         | 32 |
| 11.3   | Test procedure.....                                                           | 33 |
| 11.4   | Acceptance criteria .....                                                     | 34 |
| 12     | System protection test .....                                                  | 34 |
| 12.1   | General.....                                                                  | 34 |
| 12.2   | Rapid voltage changes test.....                                               | 34 |
| 12.2.1 | Test objective .....                                                          | 34 |
| 12.2.2 | Test conditions .....                                                         | 34 |
| 12.2.3 | Test procedure .....                                                          | 35 |
| 12.2.4 | Acceptance criteria .....                                                     | 36 |
| 12.3   | Traction supply voltage interruption .....                                    | 36 |
| 12.3.1 | Test objective .....                                                          | 36 |
| 12.3.2 | Test conditions .....                                                         | 36 |
| 12.3.3 | Test procedure .....                                                          | 36 |
| 12.3.4 | Acceptance criteria .....                                                     | 36 |

|              |                                                                                                       |    |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 12.4         | Traction supply contact loss .....                                                                    | 36 |
| 12.4.1       | Test objective .....                                                                                  | 36 |
| 12.4.2       | Test conditions .....                                                                                 | 36 |
| 12.4.3       | Test procedure .....                                                                                  | 37 |
| 12.4.4       | Acceptance criteria .....                                                                             | 37 |
| 12.5         | Sudden loss of regeneration capability .....                                                          | 37 |
| 12.5.1       | Test objective .....                                                                                  | 37 |
| 12.5.2       | Test conditions .....                                                                                 | 37 |
| 12.5.3       | Test procedure .....                                                                                  | 38 |
| 12.5.4       | Acceptance criteria .....                                                                             | 38 |
| 12.6         | Traction inverter stop .....                                                                          | 38 |
| 12.6.1       | Test objective .....                                                                                  | 38 |
| 12.6.2       | Test conditions .....                                                                                 | 38 |
| 12.6.3       | Test procedure .....                                                                                  | 38 |
| 12.6.4       | Acceptance criteria .....                                                                             | 38 |
| 12.7         | Temperature calculation functions .....                                                               | 39 |
| 12.7.1       | General .....                                                                                         | 39 |
| 12.7.2       | Test objective .....                                                                                  | 39 |
| 12.7.3       | Test conditions .....                                                                                 | 39 |
| 12.7.4       | Test procedure .....                                                                                  | 39 |
| 12.7.5       | Acceptance criteria .....                                                                             | 39 |
| 12.8         | Over-current and over-voltage protection .....                                                        | 39 |
| 12.9         | Control battery supply interruption .....                                                             | 39 |
| 12.9.1       | Test objective .....                                                                                  | 39 |
| 12.9.2       | Test conditions .....                                                                                 | 39 |
| 12.9.3       | Test procedure .....                                                                                  | 39 |
| 12.9.4       | Acceptance criteria .....                                                                             | 40 |
| 13           | Fault management test .....                                                                           | 40 |
| 13.1         | General .....                                                                                         | 40 |
| 13.2         | Loss of sensor function .....                                                                         | 40 |
| 13.3         | Loss of command and feedback signals .....                                                            | 40 |
| 13.4         | Fault in cooling systems .....                                                                        | 40 |
| 13.5         | Earth and short-circuit faults .....                                                                  | 41 |
| Annex A      | (normative) List of combined tests .....                                                              | 42 |
| Annex B      | (informative) List of clauses with agreements between the user and<br>manufacturer .....              | 43 |
| Annex C      | (normative) Special test items and conditions for DC motors .....                                     | 44 |
| C.1          | General .....                                                                                         | 44 |
| C.2          | Test bench architecture .....                                                                         | 44 |
| C.2.1        | Test setup .....                                                                                      | 44 |
| C.2.2        | Load system .....                                                                                     | 44 |
| C.3          | Commutation test .....                                                                                | 45 |
| Bibliography | .....                                                                                                 | 46 |
| Figure 1     | – Overview of traction system architecture .....                                                      | 8  |
| Figure 2     | – Example of relationship between the “traction system under test” and the<br>“traction system” ..... | 9  |
| Figure 3     | – Traction system – relationship between user, suppliers and manufacturer .....                       | 11 |

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 4 – Example of peak temperatures on route profile .....                                                        | 13 |
| Figure 5 – Example of test bench architecture with speed controlled load system .....                                 | 15 |
| Figure 6 – Example of test bench architecture with back to back method .....                                          | 16 |
| Figure 7 – Examples of simulating auxiliary load and traction load power supply .....                                 | 17 |
| Figure 8 – Example of measurement using summation of losses method .....                                              | 18 |
| Figure 9 – Example of measurement using comparison of power method .....                                              | 20 |
| Figure 10 – Example of measurement using comparison of current method .....                                           | 21 |
| Figure 11 – Example of measurement using back to back method .....                                                    | 21 |
| Figure 12 – Torque characteristics of a traction system .....                                                         | 23 |
| Figure 13 – Effect of wheel diameter mismatch on the torque characteristic of asynchronous motor .....                | 29 |
| Figure 14 – Test conditions for motoring-braking transition .....                                                     | 32 |
| Figure 15 – Test conditions in traction system range of voltage .....                                                 | 33 |
| Figure 16 – Test conditions for variation of the voltage .....                                                        | 33 |
| Figure 17 – Rapid voltage change with DC line voltage .....                                                           | 35 |
| Figure 18 – Rapid voltage change with AC line voltage .....                                                           | 35 |
| Figure 19 – Example of method to create a rapid voltage change .....                                                  | 36 |
| Figure 20 – Example of method to simulate the traction supply contact loss .....                                      | 37 |
| Figure 21 – Example of method to create loss of regenerative capability .....                                         | 38 |
| Figure C.1 – Example of braking configuration for a traction system under test with separately excited DC motor ..... | 44 |
| Figure C.2 – Test bench arrangement for back to back test of the traction system under test with a DC motor .....     | 45 |
| Table A.1 – List of combined tests .....                                                                              | 42 |
| Table B.1 – List of subclauses including agreements between the user and manufacturer .....                           | 43 |

# INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## RAILWAY APPLICATIONS – ROLLING STOCK – COMBINED TEST METHOD FOR TRACTION SYSTEMS

### FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61377 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways.

This edition cancels and replaces IEC 61377-1 (2006), IEC 61377-2 (2002) and IEC 61377-3 (2002). It constitutes a technical revision.

This edition includes the following main technical changes with regard to the previous editions: it includes updates as necessary in order to meet the current technical state of the art, to improve clarity and to create an edition that considers all types of motors part of a traction system.

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

| FDIS        | Report on voting |
|-------------|------------------|
| 9/2078/FDIS | 9/2113/RVD       |

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

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

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

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

# RAILWAY APPLICATIONS – ROLLING STOCK – COMBINED TEST METHOD FOR TRACTION SYSTEMS

## 1 Scope

This International Standard applies to the traction system consisting (when it applies) of traction motor(s), converter(s), traction control equipment including software, transformer, input filters, brake resistors, main circuit-breaker, cooling equipment, transducers, contactors, etc.

Figure 1 is just an overview and is not representative of all traction system architectures.

Current collector, mechanical braking systems and gearbox are not in the scope of this standard.

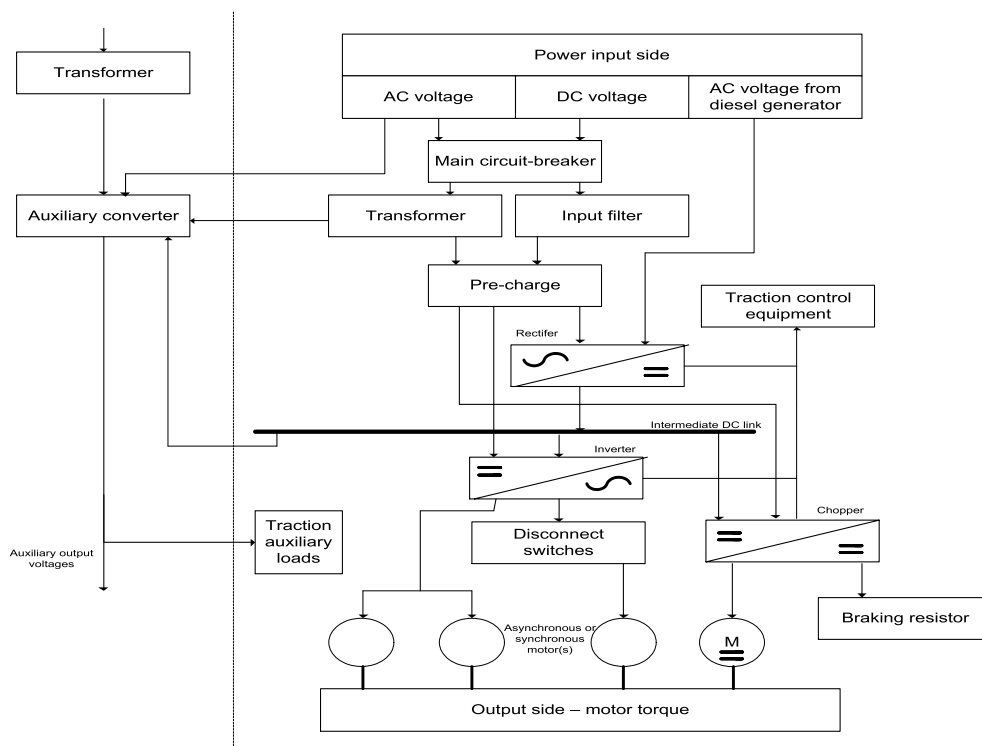
Types of motors applicable in this standard are asynchronous, or synchronous including permanent magnet (PMM), or direct current (DC).

The auxiliary converter(s) is (are) part of the scope when the auxiliary converter is enclosed within the traction converter. Otherwise, when the traction system feeds an auxiliary system outside the traction converter, the auxiliary system can be replaced by an equivalent load.

NOTE 1 Energy storage system is not considered in this standard since there is no specific type test standard for energy storage system.

NOTE 2 Auxiliary loads validation is not part of this standard.

NOTE 3 The gearbox can be part of test set-up, but it is not a part of traction system.



IEC

Figure 1 – Overview of traction system architecture

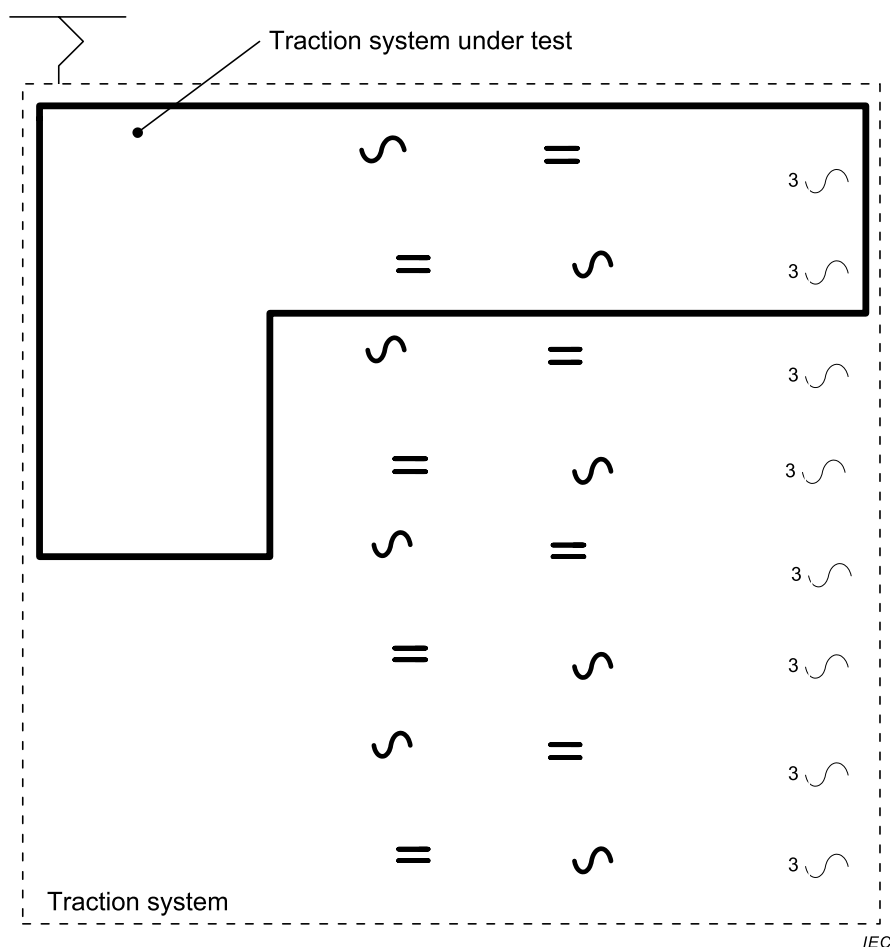
The objective of this standard is to specify the type test of a traction system, mainly comprising of:

- test of performance characteristics;
- test methods of verifying these performance characteristics.

This standard does not specify the type test of each individual component.

The traction system under test incorporates at least one complete traction conversion line (at least one traction converter and its related loads, one transformer in the case of AC supply or input filter in the case of DC supply). The representativeness of the traction system under test versus the actual traction system is agreed between the user and manufacturer.

Figure 2 gives one example of the relationship between the traction system under test and the whole traction system.



**Figure 2 – Example of relationship between the “traction system under test” and the “traction system”**

The traction system under test is equipped with components that are representative of the production series.

Deviations may be permitted by agreement between user and manufacturer, and are justified from an impact stand point in advance of the test. Using equivalent components or parts is permitted if no significant influence on the test result is expected.

## 2 Normative references

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

IEC 60050 (all parts): *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60349-1, *Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles – Part 1: Machines other than electronic converter-fed alternating current motors*

IEC 60349-2, *Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles – Part 2: Electronic converter-fed alternating current motors*

IEC TS 60349-3, *Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles – Part 3: Determination of the total losses of converter-fed alternating current motors by summation of the component losses*

IEC 60349-4, *Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles – Part 4: Permanent magnet synchronous electrical machines connected to an electronic converter*

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 61287-1, *Railway applications – Power converters installed on board rolling stock – Part 1: Characteristics and test methods*

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

## 3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-411, IEC 60050-551, IEC 60050-811, and the following apply:

### 3.1

#### **traction system**

system which provides traction torque, converting the input supply energy into mechanical energy in motoring and the mechanical energy into electrical or thermal energy in braking (if applicable), comprising of the entire conversion equipment located between the current collector (excluded) and the motor shaft(s) and including all associated auxiliary equipment needed to operate the system

### 3.2

#### **traction system under test**

representative traction system for combined test, according to Clause 1

### 3.3

#### **component**

constituent of traction system

**3.4****user**

organization which orders the traction system (see Figure 3)

Note 1 to entry: The user is normally an organization which operates the vehicle equipped with the traction system, unless the responsibility is delegated to a main contractor or consultant.

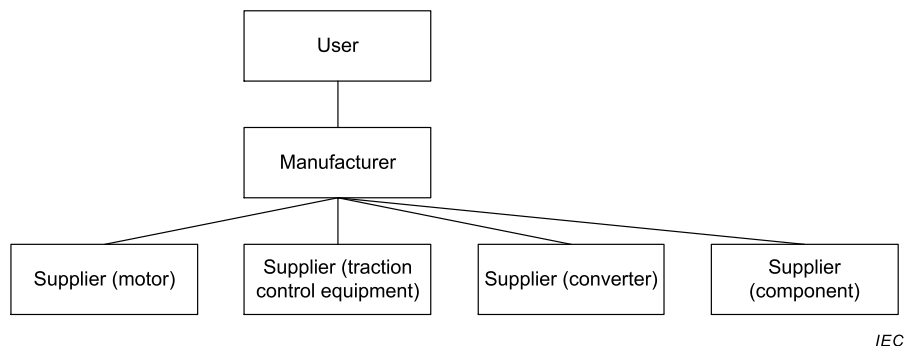
**3.5****manufacturer**

organization which has the technical responsibility for the supply of the traction system (see Figure 3)

Note 1 to entry: The manufacturer can be the supplier of one or more components of traction system, or of none of them.

**3.6****supplier**

organization which has the responsibility of one or more of the components



**Figure 3 – Traction system – relationship between user, suppliers and manufacturer**

**3.7****duty**

load to which the traction system is subjected, including motoring, coasting, and, if applicable, electrical braking

**3.8****duty cycle**

specified sequence of operation conditions, e.g. the speed and torque over the time on an elementary route

Note 1 to entry: Some examples of elementary route are:

- Main line train: route between two cities back and forth;
- Tramway: route between two stops;
- Metro: route between two stations.

Note 2 to entry: Typical duty cycle is defined as an agreement between the user and manufacturer.

**3.9****route profile**

repetition or combination of typical duty cycles in order to achieve steady temperature (repetitive peak temperatures over successive duty cycles are within a given tolerance) or to represent the daily operation of the vehicle

**3.10****constant load**

load applied at constant operating conditions (e.g. speed, voltage)

Note 1 to entry: Several loads can be specified.

### **3.11**

#### **route profile load**

load based on route profile on which the traction system under test is operated

### **3.12**

#### **speed**

motor speed in r/min

Note 1 to entry: Motor speed (r/min) is convertible from vehicle speed (km/h) based on specified wheel diameter and gear ratio.

### **3.13**

#### **maximum working speed**

motor speed which corresponds to the maximum vehicle design speed at fully worn wheels or the minimum rolling diameter of rubber tyres

### **3.14**

#### **test plan**

list of all tests to be undertaken by the manufacturer that includes the mandatory and optional tests to be agreed with the user

Note 1 to entry: In the test plan it is recommended to describe the components used in the traction system under test.

### **3.15**

#### **test specification**

all information, requirements and parameters to be applied to carry out and assess the test, including e.g. scope of test, test objective, test conditions, test method, test procedure, evaluation method, measurements, acceptance criteria with tolerances

### **3.16**

#### **test result**

final assessment of test

### **3.17**

#### **optional test**

test that is not mandatory and subject to agreement between the user and manufacturer

## **4 Traction system characteristics**

Traction system specifications shall, as a general rule, include characteristic curves. These curves are defined as the specified characteristics. They shall be plotted to the designed operating limits of each variable. They shall generally be drawn for the AC or DC supply voltage of the traction system at its specified nominal value. They may also be drawn for the lower and higher voltage of the supply of the traction system if agreed between the user and manufacturer.

These characteristics shall be drawn for a reference temperature of the motor (winding or magnet) and the design temperature of the parts of the converter, transformer and line filter, etc., expected by the supplier.

The reference temperature of the motor (winding or magnet) shall be according to the values as in IEC 60349 series or subject to agreement between the user and manufacturer.

The following characteristics are defined:

- a) Specified characteristics: values defined in order to fulfil the user contractual requirements. They are the reference values for measurement and shall be validated on the test bench.
- b) Internal characteristics: internal design values which shall be measured and used to prove the design but do not have an influence on the acceptance of the combined test, such as root-mean-square value of current/voltage of traction motor for example.

Provided that the measurement results are compliant with the specified characteristics, the test results remain valid, even if the internal characteristics are not exactly the same as the ones specified. The difference should be agreed between the user and manufacturer.

The set of specified characteristics on fixed operating points over the speed-torque curve, at given line voltages (according to IEC 60850 or otherwise specified if outside the scope of IEC 60850) and given wheel diameter is:

- torque versus speed;
- efficiency of the traction system versus speed at maximum torque reference along the curve.

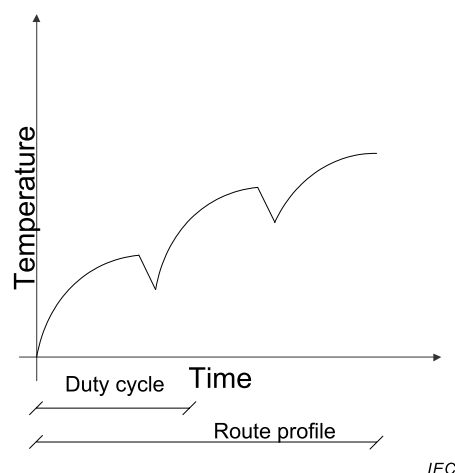
Specified and internal characteristics can be measured during a speed sweep test or a test at constant speed .

NOTE 1 In the case of speed sweep the inertia mass of the motor rotor considerably influences measurement of the motor shaft torque.

The set of specified characteristics on the route profile at a specific line voltage is:

- torque reference value and speed versus time at the given wheel diameter;
- line current and voltage;
- all relevant peak temperatures (see Figure 4);
- input electrical energy consumption in kWh (integrated value over entire route profile).

NOTE 2 Specified and internal characteristics except those listed above are described in the following clauses for each test.



**Figure 4 – Example of peak temperatures on route profile**

## 5 General test requirements

The combined test gives the opportunity to run the components of the traction system under test with operating conditions close to service.

All components shall be previously type-tested according to their relevant standards (except some specific tests which are specified to be carried out on the combined test). It is not necessary to repeat a test on the combined test bench which was already carried out at the component type test level.

**NOTE** The type tests of the components or parts of them can be carried out on the same test bench of the combined test, but they are not in the scope of this standard. The results of the component type tests are provided as reference for the combined test.

The tests in this standard are classified as mandatory tests and optional tests. The mandatory tests shall be carried out (if applicable). Each optional test is subject to an agreement. Table A.1 shows tests being mandatory or optional and should be used to mark the optional tests agreed between the user and manufacturer. The specific test items for DC motors are defined in Annex C.

The tests specified in this standard shall be carried out on one traction system of every new design unless the manufacturer can demonstrate the compliance (to one, several or all tests) with this standard, through tests performed on the existing traction system. This shall be subject to a contractual agreement between the user and manufacturer.

If modifications of the design of the components are decided after the combined test has been performed, the impact of these modifications on the performances of the traction system shall be evaluated. An agreement may then be reached between the user and manufacturer as to whether or not to carry out the combined test again, or to carry out only some of the tests. Modifications of the software can be validated by appropriate software tests (e.g. using a real time simulator).

The versions used of all components (including software) shall be traceable for each test, if relevant.

An agreement between the user and manufacturer may be made to perform testing either on the test bench or on the vehicle. Testing may be split partially on the test bench and partially on the vehicle. Type tests on the vehicle are specified in IEC 61133. Some of these tests may be performed in the combined test. Their acceptance is subject to agreement.

A test plan and a test specification for the combined test of the traction system should be submitted to the user and agreed with the user. After the test, a test result should be submitted. Raw data and evaluation procedures do not need to be included in the test result.

## **6 General test conditions**

### **6.1 Test setup**

#### **6.1.1 Setup of traction system under test**

The components to be equipped with temperature sensors are proposed by the manufacturer in agreement with the user.

When they are relevant for validation purposes, the components of the traction system shall be equipped with temperature sensors by the supplier. The component suppliers are responsible for defining the best location depending on the expected highest temperature. If sensors cannot be placed at the hottest spot, the component supplier shall provide temperature correction.

The exact train wiring conditions are not mandatory in the setup of traction system under test.

## 6.1.2 Test bench architecture

### 6.1.2.1 General

Test bench architecture should consist of the following:

- a) test bench power supply;
- b) traction load system;
- c) auxiliary power supply and train auxiliary load.

### 6.1.2.2 Test bench power supply

The test bench power supply should provide a voltage range in order to operate under the conditions specified in IEC 60850 (or otherwise specified if outside the range of IEC 60850). Voltage range or power limitation of the power supply shall be agreed with the user. Characteristics of the traction system in the voltage area exceeding these voltage limits may be tested with reduced limit values/parameters.

Inductance, capacitance, resistance, frequency and voltage waveform (ripple, peaks, harmonics and interferences) of power supply system should have no relevant influence on the operation of the traction system and no relevant influence on test results.

### 6.1.2.3 Traction load system

#### 6.1.2.3.1 General

There are mainly the following two methods for loading the traction system:

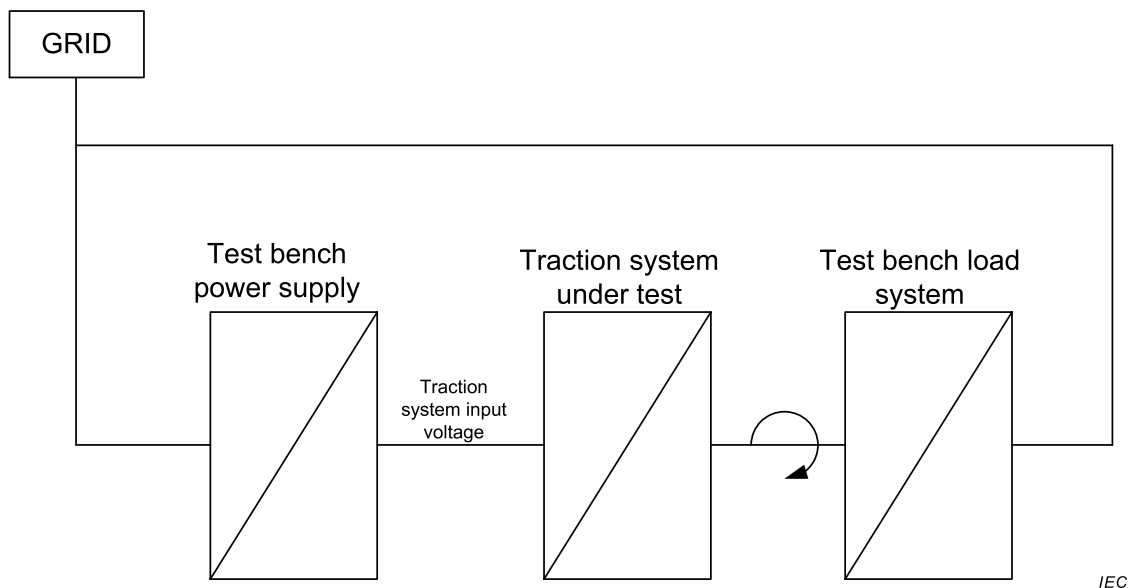
- a) speed controlled load system;
- b) inertial load.

#### 6.1.2.3.2 Speed controlled load system

There are the following options:

- a) Option 1:

The mechanical energy generated from the traction system under test is converted into electrical energy by the load system and sent back to the grid or to the test bench power supply (see Figure 5).

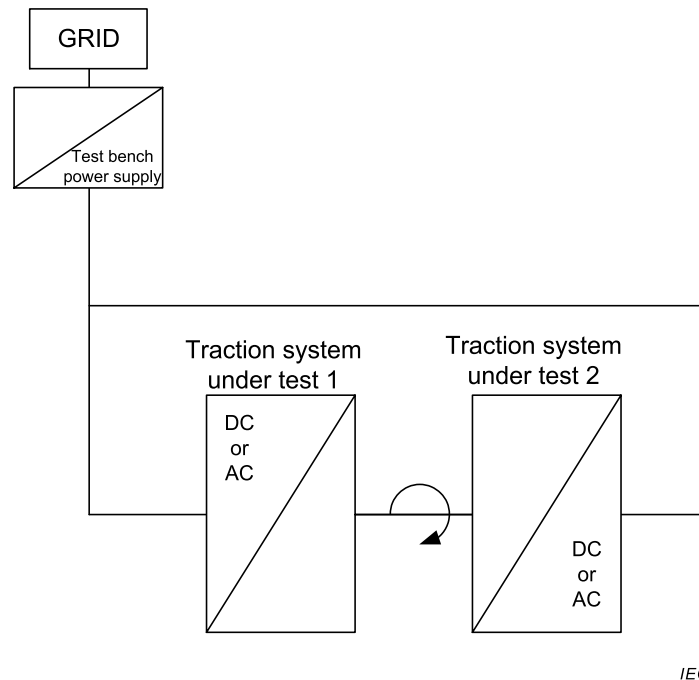


**Figure 5 – Example of test bench architecture with speed controlled load system**

b) Option 2:

Two identical traction systems under test are installed back to back as shown in the Figure 6.

The mechanical energy generated by the traction system under test is converted into electrical energy by the second traction system.



**Figure 6 – Example of test bench architecture with back to back method**

### 6.1.2.3.3 Inertia load

Flywheels are used to simulate inertia load equivalent to the vehicle. Due to limitations of the test bench facility (it may not be possible to run at constant speed with the tractive effort), load conditions (e.g. torque vs time) are not necessarily the same as the real operating ones. Calculation may be used to demonstrate the validity of the inertial load method and the representativeness of load conditions to simulate the real operating conditions.

### 6.1.2.4 Auxiliary power supply and train auxiliary loads

#### 6.1.2.4.1 General

The scope of this clause includes all the loads outside the traction system but supplied from the traction system, for instance, the train auxiliary loads or auxiliary converter itself when fed by the traction system (from a traction DC link or transformer auxiliary winding).

The traction auxiliary loads are loads essential to operate the traction system, e.g. motor fans, water pump.

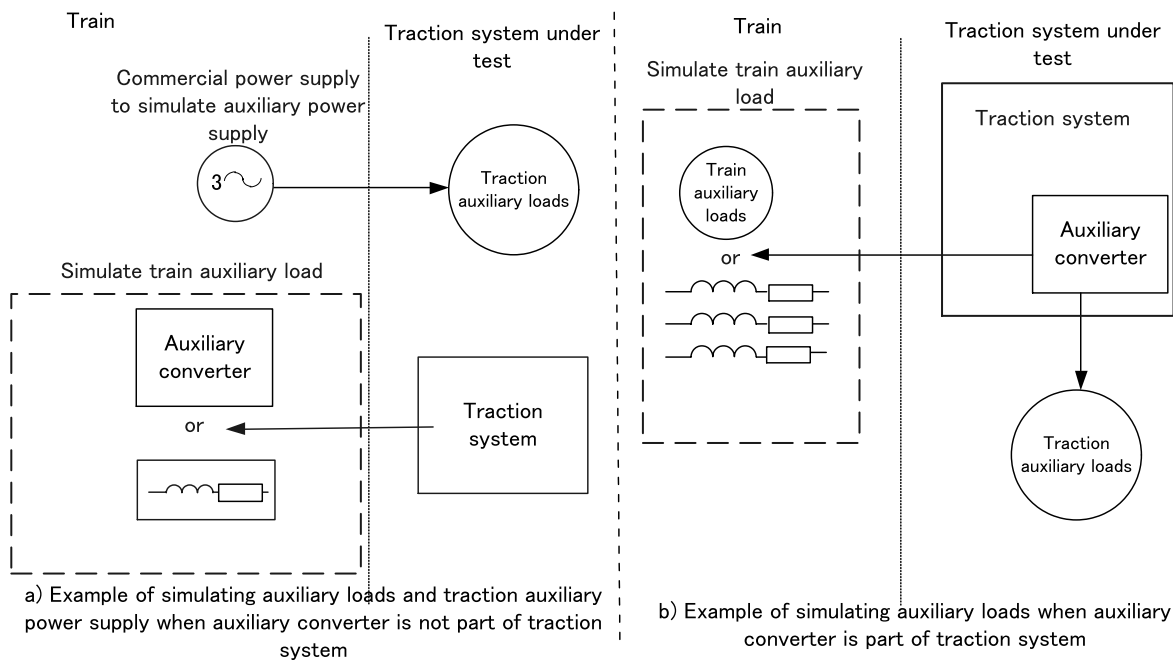
The train auxiliary loads are the ones on the vehicle which are powered by the auxiliary converter or the traction system but are not essential to the traction system, these auxiliary loads may be simulated by an equivalent passive or active load.

The traction system supplier decides whether or not the auxiliary loads are simulated depending on the impact on validation.

#### 6.1.2.4.2 Auxiliary loads supply

A commercial power supply may be used for the traction auxiliary load.

Figure 7 gives examples of simulation of auxiliary loads and traction auxiliary load power supplies.



IEC

**Figure 7 – Examples of simulating auxiliary load and traction load power supply**

In example a) of Figure 7, the auxiliary converter is not a part of the traction system under test. In this case, an equivalent passive load or active load can be used to simulate the auxiliary converter and a commercial power supply can be used to supply traction auxiliary power.

In example b) of Figure 7, the auxiliary converter is part of the traction system under test. In this case, an equivalent passive or active load can be used to simulate the train auxiliary loads.

## 6.2 Cooling during the test

The traction system shall be tested with its cooling arranged (taking into account dynamic pressure drop):

- as it would be in service, including ducting and filters regarded as part of the vehicle;

or

- with arrangements giving equivalent conditions.

Cooling corresponding to that produced by the motion of the vehicle can be simulated for parts of the equipment which are naturally cooled. Simulations of this kind of cooling are done by agreement between the user and manufacturer.

Measurements of internal characteristics (cooling agent flow rate, pressure, temperatures, etc.) are performed in order to show that the cooling conditions are equivalent to those specified.

If the test is not performed at the specified maximum ambient temperature, temperature measurement results shall be corrected linearly (between 10 °C and 40 °C ambient temperature, or when the temperature difference between the specified maximum ambient

temperature and the measured ambient temperature is within  $\pm 30$  K) to extrapolate the results to the maximum operating temperature. Outside that range, the extrapolation should be done by agreement between the user and manufacturer.

### 6.3 Mechanical output measurement

#### 6.3.1 General

The torque of the traction system under test is evaluated by the summation of all motor torques.

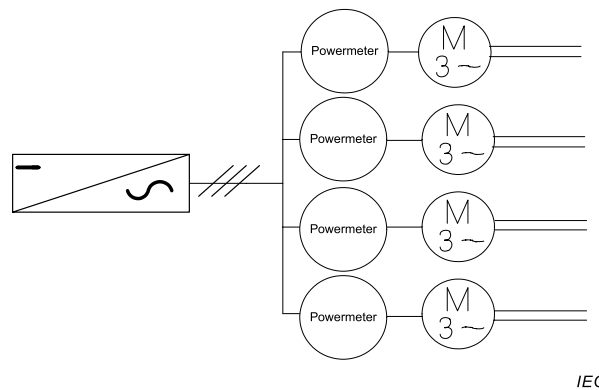
The mechanical output shall be measured directly on the motor(s) shaft(s). If the gearbox is part of the test setup, the torque may be measured on the output shaft of the gearbox.

Alternatively, if agreed between the user and manufacturer, the mechanical output (of one or all motors of the traction system) may be derived from alternative methods. Examples of alternative methods are:

- a) summation of losses method;
- b) comparison of power;
- c) comparison of current;
- d) back to back method.

#### 6.3.2 Summation of losses method

The torque on motors can be calculated according to methods described in IEC TS 60349-3 and the calculation is made by summation of losses (see Figure 8).



**Figure 8 – Example of measurement using summation of losses method**

$$P_{\text{losses}} = 3 \times R \times I^2$$

where

$P_{\text{losses}}$  is the stator resistance losses;

$R$  is the stator resistance known from the motor type test adjusted with the measured temperature;

$I$  is the fundamental phase current.

The air-gap torque is calculated:

$$T_{\text{air-gap}} = (P_{\text{el}} - P_{\text{losses}} - P_{\text{iron}}) / ((2 \times \pi \times N_s) / 60)$$

where

$T_{\text{air-gap}}$  is the air-gap torque;

$P_{el}$  is the electrical fundamental input power of motor;

$P_{losses}$  is the stator resistance losses;

$P_{iron}$  is the iron losses;

$N_s$  is the synchronous speed of the motor.

The torque of motor is calculated:

$$T = T_{air-gap} - (P_f + P_{stray}) / ((2 \times \pi \times N) / 60)$$

where

$T$  is the torque value of the motor;

$T_{air-gap}$  is the air-gap torque;

$P_f$  is the friction losses according to the motor type test;

$P_{stray}$  is the stray losses defined in IEC TS 60349-3, if not known from the motor type tests;

$N$  is the mechanical speed of each motor.

The torque result is:

$$T = \left( \frac{60}{2 \times \pi \times N} \right) \times \left( (P_{el} - 3 \times R \times I^2 - P_{iron}) \times \left( \frac{N}{N_s} \right) - P_f - P_{stray} \right)$$

This method is only applicable for asynchronous motors.

### 6.3.3 Comparison of power method

If one motor torque is measured ( $T_1$ ), each individual torque can be calculated with the following equation (see Figure 9):

$$\frac{T_i}{T_1} = \frac{N_1}{N_i} \times \frac{(P_{el\_i} - 3 \times R_i \times I_i^2 - P_{iron\_i}) \times N_i / N_{s\_i} - P_{f\_i} - P_{stray\_i}}{(P_{el\_1} - 3 \times R_1 \times I_1^2 - P_{iron\_1}) \times N_1 / N_{s\_1} - P_{f\_1} - P_{stray\_1}}$$

where

$T_1$  is the measured torque of the one motor;

$P_{el\_1}$  is the electrical fundamental input power of the one motor;

$I_1$  is fundamental phase current;

$N_1$  is the mechanical speed of the one motor;

$R_1$  is the stator resistance known from the motor type test adjusted with the measured temperature;

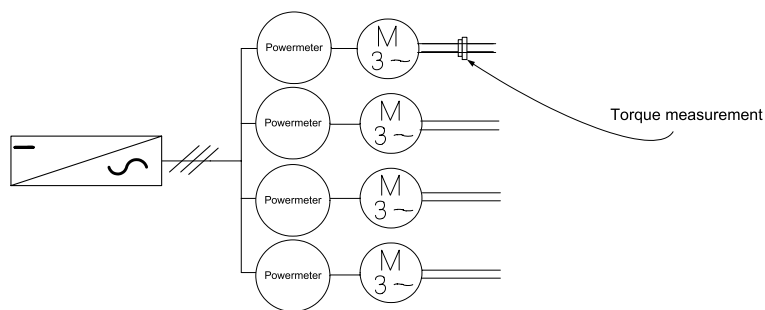
$P_{iron\_1}$  is the iron losses of the one motor;

$N_{s\_1}$  is the synchronous speed of the one motor;

$P_{f\_1}$  is the friction losses of the one motor according to the motor type test;

$P_{stray\_1}$  is stray losses of the one motor defined in IEC TS 60349-3, if not known from the motor type tests;

$T_i, P_{el\_i}, I_i, N_i, R_i, P_{iron\_i}, N_{s\_i}, P_{f\_i}, P_{stray\_i}$  are values of the other motors.



IEC

**Figure 9 – Example of measurement using comparison of power method**

This method is only applicable for asynchronous motors.

Providing that efficiencies of motors under test are assumed to be the same and the difference of power is less or equal to 20 %, comparison of power method can be simplified (applicable for all type of motors):

$$T_i \approx T_1 \times P_{el\_i} / P_{el\_1} \times N_1 / N_i$$

where

- $T_1$  is the measured torque of the one motor;
- $P_{el\_1}$  is the electrical fundamental input power of the one motor;
- $N_1$  is the mechanical speed of the one motor;
- $T_i, P_{el\_i}, N_i$  are values of the other motors.

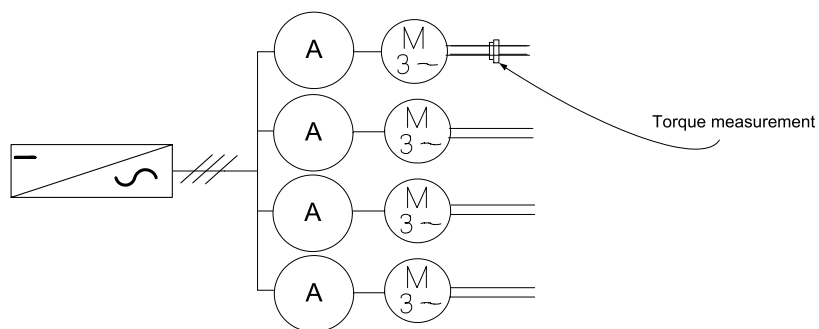
#### 6.3.4 Comparison of current method

In the case of paralleled motors with equal speeds (e.g. all motors are mechanically coupled) and provided that the efficiencies and power factors of the motors under test are assumed to be the same and the difference of motor currents is less or equal to 5 %, the sum of the torques (instead of measurement of each single torque) may be calculated from the one measured torque (reference torque) and the measured motor currents (or their sum) (see Figure 10):

$$T_i \approx T_1 \times I_{el\_i} / I_{el\_1}$$

where

- $T_1$  is the measured torque of the one motor;
- $I_{el\_1}$  is the motor fundamental current of the one motor;
- $T_i, I_{el\_i}$  are values of the other motors.

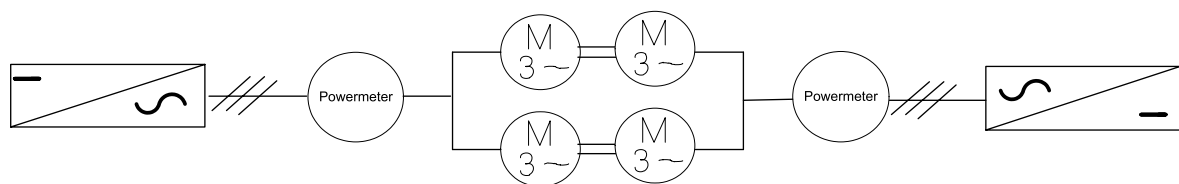


IEC

**Figure 10 – Example of measurement using comparison of current method**

### 6.3.5 Back to back method

When the efficiencies of motors under test and load motors are assumed to be the same, the torque is calculated from the total measured power of the motors (both motors under test and load motors) (see Figure 11).



IEC

**Figure 11 – Example of measurement using back to back method**

## 6.4 Tolerances and measuring accuracy

The acceptance criteria indicate the specified values with acceptable tolerance limits and apply to the measurement results as defined below. The tolerance limit is defined in each test specification in the following clauses.

The corrected results are the reading values corrected with systematic errors.

NOTE 1 Systematic errors are for example offsets or errors indicated in the calibration curves of instruments.

The measurement result is the corrected result adjusted by the accuracy (considered in this standard as the class of the apparatus or the instruments' deviation taken from calibration protocols) of the measuring equipment. The measurement result shall be within the requested tolerance limits.

The manufacturer is responsible for choosing the pertinent accuracy of the measuring equipment.

NOTE 2 This only applies to the validation of the specified characteristics. Internal characteristics can be measured by measuring devices of the traction system (such as current/voltage transducers, software calculated values).

## 6.5 Environmental conditions

The ambient temperature, air pressure and humidity shall be recorded if relevant for the test. Special environmental conditions required for the tests shall be described in the test specification.

## 7 Torque characteristic test

### 7.1 General

The aim of this test is to demonstrate the compliance with the specified torque characteristics of the traction system. The test shall be carried out by running the motor(s) at a given speed applying the torque reference value from the traction control system.

The parameters described in the test conditions shall be in compliance with those used in specified characteristics, as defined in Clause 4.

The characteristics shall be drawn at least for the maximum torque reference over the entire speed range of the application, in motoring and braking if electric braking is applied. They may also be drawn for  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  and  $\frac{3}{4}$  of the maximum torque reference at any speed, if agreed between the user and manufacturer.

If there are different sets of reference values (characteristic curves), for example in different operating conditions, every set of reference values shall be measured.

The tests for torque characteristics comprise of the measurement of specified characteristics (see Clause 4):

- torque versus speed;

and internal characteristics (recommended items):

- motor phase fundamental RMS current (or torque current);
- motor phase total RMS current;
- motor phase-to-phase RMS fundamental voltage (or modulation index);
- motor phase-to-phase total RMS voltage or harmonic content;
- DC link voltage;
- line voltage.

Temperature is an important parameter which influences the output torque, especially for traction system with asynchronous motors and PMM. The torque characteristic tests include testing at motor hot and motor cold.

### 7.2 Torque characteristics test at motor hot

#### 7.2.1 Test objective

The aim of the test is to demonstrate the compliance with the specified torque characteristics at motor hot.

#### 7.2.2 Test conditions

The motors are in a hot condition when the stator winding temperatures are equal to the reference temperature as in IEC 60349 series or subject to agreement between the user and manufacturer, with a tolerance of  $\pm 20$  K.

To achieve the hot condition, the following possibilities may be used:

- run the system to load the motor (at constant load or other loads) until the temperature measured at the stator winding, chosen to be representative of the average temperature, reaches the hot condition;
- run the system according to the test condition in Clause 9 or an equivalent one, providing the hot condition is achieved during the test.

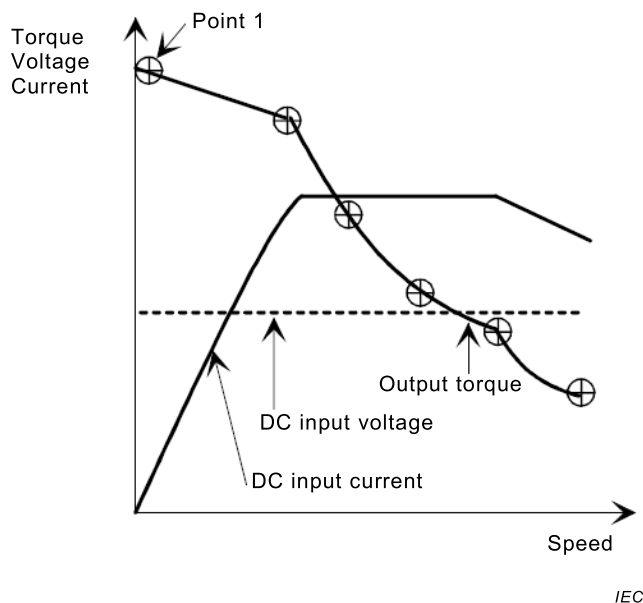
### 7.2.3 Test procedure

This test can be performed by measuring the torque at:

#### a) constant speed

It is recommended to measure alternately at low speed and high speed to keep the temperature of the motor as constant as possible. Measurements shall be performed quickly to keep the temperature of the motor windings within the range defined in 7.2.2.

The number of plotted points shall be sufficient to have a precise view of the characteristics. Figure 12 gives examples of the number of points needed.



**Figure 12 – Torque characteristics of a traction system**

#### b) speed sweep

The measurement of torque is performed with the torque characteristic in Figure 12, sweeping in motoring from zero to maximum speed and in braking from the maximum to the minimum speed.

NOTE In case of speed sweep the inertia mass of the motor rotor influences the measurement of the motor shaft torque considerably.

### 7.2.4 Acceptance criteria

The difference between the measurement result of the sum of the torques (as defined in 6.3 and in 6.4) and the specified value shall be within the tolerance of  $\pm 5\%$  of the specified value from the lowest speed (Point 1 in Figure 12) to 90 % of the maximum working speed.

## 7.3 Torque characteristics test at motor cold

### 7.3.1 Test objective

This test is to demonstrate compliance with the specified torque characteristics of the traction system at motor cold.

### 7.3.2 Test conditions

The motor is in the cold condition when the temperature difference between the motor (stator, stator winding or frame) and the ambient is within 20 K.

The cold condition may be reached by keeping the motor in the off-state in its ambient temperature or by forced air.

### **7.3.3 Test procedure**

The measurement shall be performed just after the system has been started up. The measurements shall be performed at a single point at the lowest speed (point 1 in Figure 12, for which it has already been measured at system hot in 7.2.3).

### **7.3.4 Acceptance criteria**

The difference between the measurement result of the sum of the torques (as defined in 6.3 and in 6.4) and the specified value shall be within the tolerance of  $\pm 5\%$  of the specified value.

## **7.4 Starting torque at zero speed**

### **7.4.1 Test objective**

The aim of this test is to check the ability of the traction system to apply full torque at zero speed, e.g. with locked rotor or equivalent method.

This test is required for traction systems of locomotives only.

This test can be substituted with a torque characteristic test at motor cold, if the lowest speed defined in 7.3.3 is zero speed.

### **7.4.2 Test conditions**

The test has to be carried out on at least one motor, at hot and cold conditions as defined in 7.2.2 and 7.3.2.

### **7.4.3 Test procedure**

With the rotor locked, the traction motor is driven at the maximum reference torque and then the torque is measured.

### **7.4.4 Acceptance criteria**

The difference between the measurement result and the specified value shall be within the tolerance of  $\pm 5\%$  of the specified value.

## **8 Efficiency and energy consumption test**

### **8.1 General**

The aim of this test is to demonstrate the compliance with the specified efficiency or energy consumption characteristics of the traction system.

The efficiency of the traction system is the ratio between output mechanical power and the sum of input power sources necessary to convert the electrical power into mechanical output power.

The energy consumption of the traction system is the total energy absorbed from the sum of input power sources to run the traction motors on a specific route profile.

**NOTE** The input power sources are line power input, generator input power, auxiliary input power (for example control electronics, excitation of DC motors) necessary to operate the traction system.

The user and manufacturer shall agree whether to perform a measurement of efficiency or of energy consumption.

All components of the traction system as defined in 3.2 shall be incorporated as far as they are directly related to the traction system. If the auxiliary converter is part of the traction system, it shall be loaded with the load related to the traction system only. The power of the other auxiliaries and the losses in the traction components to provide this power shall not be regarded as related to the traction system.

If the scope of the traction system under test is different from that of the traction system, for example transformer and auxiliary system only partly used, the specified characteristics shall be defined according to the scope of the traction system under test.

If cooling is controlled by temperature this shall be taken into consideration and the cooling devices shall be operated in the specified way. The ambient temperature shall be recorded. If this is not possible (for example the cooling control system is not available) the cooling systems may be operated at their full power, and the reduced cooling power demand may be considered by calculation.

The efficiency and losses of the traction system at the specified operating points in steady state (at full or part load) may be directly measured by the direct measurement of input power and output power, or by direct measurement of the losses, or measured with the back to back test setup, or summation of losses may be used, or combinations of these methods.

## **8.2 Efficiency characteristics**

### **8.2.1 Test objective**

The aim of this test is to measure and validate the efficiency of the traction system under specified operating conditions.

### **8.2.2 Test conditions**

The efficiency may be measured during the tests in 7.2.

### **8.2.3 Test procedure**

The tests for efficiency characteristics comprise of the measurement of:

a) Specified characteristics and the related operating conditions:

- efficiency versus speed and torque;
- line voltage;
- relevant temperature for efficiency.

Since efficiency is not directly measured, the following set of measurement shall be performed at the same time in order to calculate the efficiency:

- speed, torque, active power of all input power sources.

b) Internal characteristics (recommended items):

- line current.

### **8.2.4 Acceptance criteria**

The measured values shall be reached:

$$1 - \eta_M < (1 - \eta_S) \times 1,15$$

where

$\eta_M$  is the measured efficiency;

$\eta_S$  is the specified efficiency.

NOTE 15 % is the tolerance of the losses on component as per IEC 60349 series.

### **8.3 Energy consumption on route profile**

#### **8.3.1 Test objective**

The aim of this test is to measure and validate the energy consumption of the traction system on the route profile specified in the test specification.

The load condition may be different from an actual one due to the limitations of the test facilities. This test aims to verify the design values under test conditions with the measurements results.

#### **8.3.2 Test conditions**

Test condition is according to the route profile specified in the test specification, of which characteristic is defined in Clause 4.

The characteristics of the route profile shall be recalculated before tests, using the result of torque characteristics described in Clause 7, instead of the reference torque.

#### **8.3.3 Test procedure**

The tests for energy consumption comprise of the measurement of the following items:

a) specified characteristics and the related operating conditions:

- energy consumption versus time;
- line voltage versus time;
- relevant temperature for energy;
- active line power (or active line current) versus time;
- motor speed versus time;

b) internal characteristics (recommended items):

- torque reference versus time.

The energy measurement shall be signed to make a clear distinction between energy absorbed and energy returned to the power source.

The energy consumption should be measured by the measurement of the input power and its integration with time, or directly by an energy measurement system. Both the measurement methods should follow the requirements of the relevant standard for energy measurement.

Alternative methods may be used by agreement between the user and manufacturer.

#### **8.3.4 Acceptance criteria**

The measured energy consumption (in kWh) shall be in accordance with the specified energy consumption with a tolerance of  $\pm 10$  %, unless otherwise specified.

## **9 Temperature rise test**

### **9.1 General**

The aim of this test is to verify the temperature design values with the measurement results under test conditions.

Temperature rise tests are carried out by one of the following methods:

- the constant load test (9.2);
- the route profile load test (9.3).

The method adopted shall be agreed between the user and manufacturer.

The load condition may be different from an actual one due to limitations of test facilities. In this case, the manufacturer shall demonstrate that the test result is equivalent.

The temperature rise of components of the traction system under test shall be measured. The components to be monitored during the temperature rise test shall be agreed between the user and manufacturer. It is permitted to perform the test without components which do not have an impact on the thermal behaviour of the traction system.

The test with wheel diameter differences may be done at the constant load or on the route profile. The method adopted shall be agreed between the user and manufacturer.

### **9.2 Temperature rise test at constant load**

#### **9.2.1 Test objective**

This test is to demonstrate that temperature rises do not exceed the design values, at the ratings of the system agreed between the user and manufacturer.

#### **9.2.2 Test conditions**

At the ratings of the traction system under test agreed between the user and manufacturer, it shall be loaded according to 6.1.2 in motoring or braking (or both if it is necessary to verify all components), and full resistive braking also to check the brake resistors (if in the scope of test), whichever will cause a higher temperature rise.

The time to reach a steady temperature may be shortened by starting the test at an increased load or reduced ventilation of some components of the system, provided that the rated conditions are subsequently maintained for at least 2 h, or until it is demonstrated by appropriate means that steady temperatures have been reached on all relevant components individually (temperature change is less than 4 K within 1 h).

#### **9.2.3 Test procedure**

Measure the temperature rise of all relevant components and cooling agents, for example:

- motor stator;
- motor rotor (by temperature sensor or calculated values from traction control software), as internal characteristic;
- inverter cooling agent or heatsink temperature;
- transformer cooling agent in case of AC supply, line reactor cooling agent in case of DC supply;
- brake resistor (if in the scope of test);
- ambient temperature.

The direct measurement of the winding temperature is not required, as this was measured during the type test. It is sufficient to evaluate and compare the cooling agent temperature with that from the type test. In case only a part of the transformer winding is used in the test the measurement of transformer temperature rise is optional.

#### **9.2.4 Acceptance criteria**

The measured temperatures shall demonstrate that the temperatures of all relevant components stay within limits according to relevant standards and specifications.

### **9.3 Temperature rise on route profile**

#### **9.3.1 Test objective**

This test is to demonstrate that temperature rises do not exceed the design values on the route profile specified in the test specification with the ratings of the system agreed between the user and manufacturer.

#### **9.3.2 Test conditions**

Test conditions are the same as in 8.3.2 unless otherwise specified.

This temperature rise should be measured considering the repetitive peak temperatures as defined in Clauses 4 and 3.9. The route profile is continued until the steady temperature is achieved (repetitive peak temperature increase over successive duty cycles is less than 4 K within 1 h or in the case of cycles longer than 1 h, 4 K at the same instant of two consecutive duty cycles). The time to reach a steady temperature may be shortened by commencing the test at a calculated equivalent rating, and going on with repeated cycles.

As an alternative, the test may be done by reproducing the daily operation of the vehicle.

#### **9.3.3 Test procedure**

The test procedure is, as far as applicable, as in 8.3.3 unless otherwise specified.

Measure the temperature rise of all relevant components and cooling agents, for example:

- motor stator;
- all relevant peak temperatures according to Clause 4;
- motor rotor (by temperature sensor or calculated values from traction control software), as internal characteristic;
- inverter cooling agent or heatsink temperature;
- transformer cooling agent in case of AC supply, line reactor cooling agent in case of DC supply;
- brake resistor (if in the scope of test);
- ambient temperature.

The direct measurement of the winding temperature is not required, as this was measured during type test. It is sufficient to evaluate and compare the cooling agent temperature with that from the type test. In case only a part of the transformer windings is used in the test the measurement of transformer temperature rise is optional.

#### **9.3.4 Acceptance criteria**

The measured temperatures shall demonstrate that the temperatures of all relevant components stay within the limits according to relevant standards and specifications.

## 9.4 Test with wheel diameter differences for paralleled asynchronous motors

### 9.4.1 General

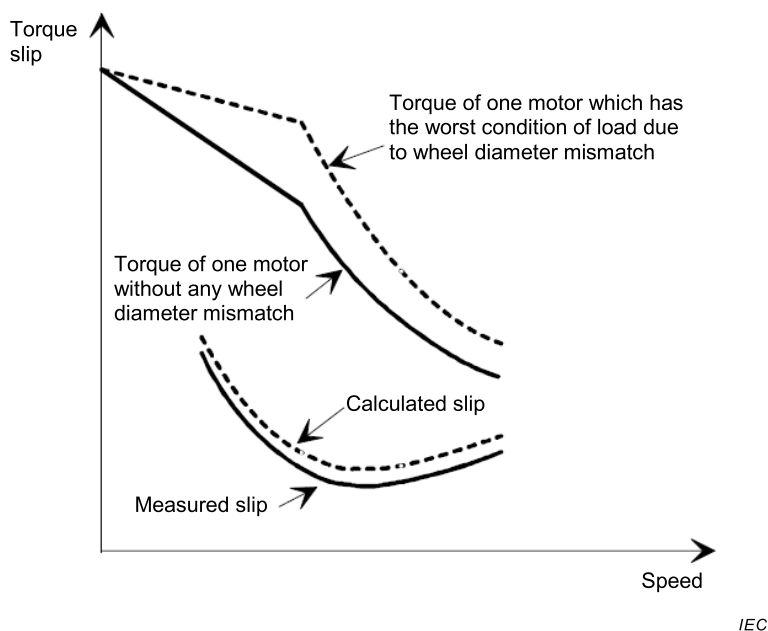
The test shall be performed either at constant load or on a route profile.

### 9.4.2 Test objective

The aim of the test is to check the motor temperature and system reactions (torque reduction) when there is a difference in speed due to wheel diameter difference.

This test is only applicable for asynchronous motors.

Figure 13 shows an example of the effect of the wheel diameter mismatch on the torque characteristic, and the evolution of the slip:



NOTE 1 The calculated slip equals:

$$s_c = s \pm (\Delta D/D)[(n-1)/n]$$

(+ in motoring, – in braking)

where

$s_c$  is the calculated slip;

$s$  is the slip measurement during the characteristic tests (motor hot, refer to 7.2);

$n$  is the number of motors in parallel;

$\Delta D/D$  is the maximum difference in wheel diameter.

NOTE 2 Wheel speed difference can also be caused by wheel slip. In this case motor overload conditions cannot be clearly defined. This condition is not considered here.

**Figure 13 – Effect of wheel diameter mismatch on the torque characteristic of asynchronous motor**

### 9.4.3 Test conditions

The test conditions are defined in 9.2.2 and 9.3.2.

#### **9.4.4 Test procedure**

##### **9.4.4.1 General**

Measure the temperature rise of the following of the motor with the highest load:

- motor stator;
- motor rotor (by temperature sensor or calculated values from the traction control software), as internal characteristic.

##### **9.4.4.2 Case 1 – increased motor temperature**

###### **9.4.4.2.1 General**

When several asynchronous motors are fed in parallel by one inverter, the difference in wheel diameter can bring some of the motors to their worst conditions of load. If the controller is designed in a way that some of the motors are brought to their worst condition of load, an additional temperature-rise test of the motors shall be performed.

This test may be carried out by one of the three following methods:

- a) (only for constant load) as a test with the considered constant speed difference of one motor. The speeds of the paralleled motors are controlled individually to a speed difference which corresponds to the maximum permitted wheel diameter difference. The test shall be done in the worst condition, either in motoring or in braking or in both. In motoring, one motor shall be given a speed which is lower than the rest of the motors, resulting in a higher torque. In braking, one motor shall be given a speed which is higher than the rest of motors, resulting in a higher torque.
- b) (only for route profile) as a test with the considered constant speed difference of one motor. The speeds of the paralleled motors are controlled individually to a speed difference which corresponds to the maximum permitted wheel diameter difference. One motor shall be given a speed which is lower than the rest of the motors, resulting in higher torque in motoring as well as a lower torque in braking.
- c) or the test may be carried out with one or more motors at equivalent constant slip in overload conditions according to the specified wheel diameter difference. This test shall consider that only one motor runs a wheel which has the maximum difference in wheel diameter. The control reference shall be modified so that the slip corresponds to the worst conditions of load due to the maximum permissible difference in wheel diameter, keeping other parameters (e.g. flux) unchanged. The applicability of this method shall be demonstrated. The test can be performed in conjunction with the motor type test.

If agreed between the user and manufacturer, the test could be substituted by a calculation of the temperature rise, based on measurements during the type test of components and the combined test.

###### **9.4.4.2.2 Acceptance criteria**

The temperature rise of the motor in the worst condition shall remain within the specified limits and the system shall react properly. The impact on torque should be demonstrated.

##### **9.4.4.3 Case 2 – reduced torque**

###### **9.4.4.3.1 General**

The control may be designed to keep all the motors within a load which would apply if there was no difference in wheel diameter by reduction of the tractive effort. As a consequence, the effect of the difference in wheel diameter will affect the torque characteristics, or the temperature rise of the motors, or both.

In this case, when the control is designed to keep all the motors within a permissible load by reduction of the tractive effort, an additional torque characteristic should be obtained. This

may be done by measurement, calculation, or simulation (for example simulation of different speed signals), or other tests to demonstrate the protective reaction of the system may be carried out. The test may be carried out with reduced limit values.

If agreed between the user and manufacturer, the test could be substituted by a calculation of the temperature rise and torque, based on measurements during the type test of components and the combined test.

#### **9.4.4.3.2 Acceptance criteria**

Reduction of torque or power of each single motor or the sum of all motors shall be shown and the temperature shall be kept within the specified limits.

### **10 System function test**

#### **10.1 Start from backward/reverse motion**

##### **10.1.1 Test objective**

The aim of this test is to demonstrate the ability of the traction system to move a vehicle from backward/reverse direction into forward direction, simulating the starting function on some gradient.

If starting from backward/reverse motion is not a requirement of a traction system, this test is not applicable.

##### **10.1.2 Test conditions**

The test shall be carried out on a test bench in order to simulate the specified load of the vehicle on the specified gradient.

NOTE Motor temperature is not relevant for this test.

##### **10.1.3 Test procedure**

The traction system under test shall start from the backward/reverse direction and go into the forward direction, with full torque applied.

##### **10.1.4 Acceptance criteria**

The traction system under test shall be able to accelerate into the required direction without any interruption of operation.

#### **10.2 Motoring-braking transition**

##### **10.2.1 Test objective**

The aim of this test is to demonstrate the ability of the system to perform the transition from motoring to braking and vice-versa under different conditions.

The test is not applicable for DC motors.

##### **10.2.2 Test conditions**

The test shall perform the following transitions (if applicable):

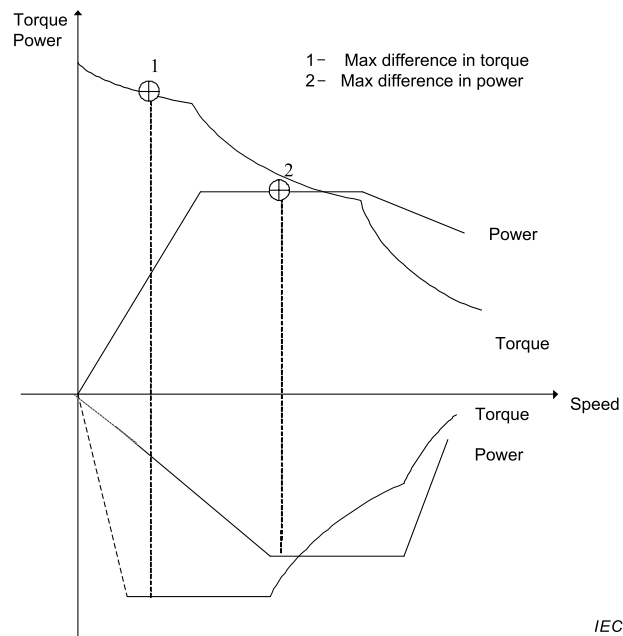
- motoring to rheostatic braking, and vice-versa;
- motoring to regenerative braking, and vice-versa.

NOTE 1 Motor temperature is not relevant for this test.

NOTE 2 Transition from motoring to emergency brake is included, if applicable.

The transition is tested with full motoring/braking torque/power at the following two speeds (see Figure 14):

- speed of point 1: maximum torque difference between motoring and braking;
- speed of point 2: maximum power difference between motoring and braking.



**Figure 14 – Test conditions for motoring-braking transition**

### 10.2.3 Test procedure

The transition, at maximum change rate of torque reference, is realized by motoring/braking command at each test condition.

### 10.2.4 Acceptance criteria

The change rate of torque shall be within the specified values.

Instead of measuring the torque directly, it is possible to measure other parameters, e.g. line current, motor current, input power.

The traction system under test shall be able to perform transitions required without any protective actions (e.g. overcurrent, overvoltage, etc.).

## 11 Variation of line voltage

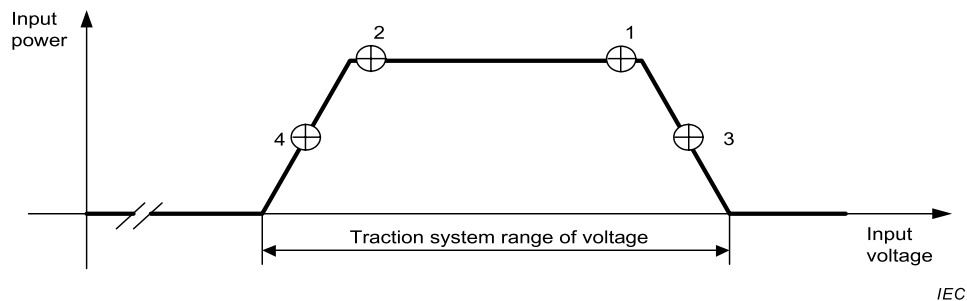
### 11.1 Test objective

The aim of this test is to verify that the traction system operates correctly in the specified voltage range, according to IEC 60850 or the specification.

### 11.2 Test conditions

The test shall be carried out over the entire voltage range, as in the example in Figure 15:

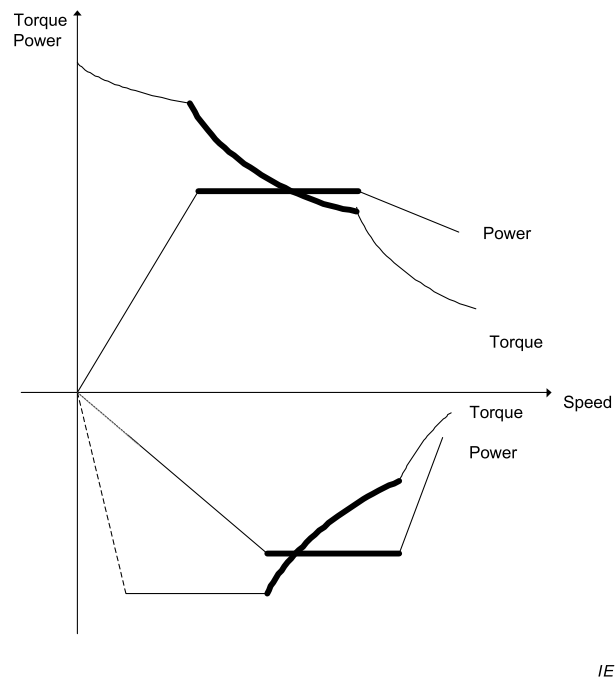
- maximum voltage at full power (point 1);
- minimum voltage at full power (point 2);
- and at least one point in the area of under-voltage and over-voltage where power reduction usually occurs (point 3 and point 4), according to IEC 62313 or specifications.



**Figure 15 – Test conditions in traction system range of voltage**

NOTE The impact of auxiliary loads is defined in 6.1.2.4.

The test shall be carried out in braking and motoring in a speed point of constant maximum power area at maximum torque reference (see bold area in Figure 16).



**Figure 16 – Test conditions for variation of the voltage**

### 11.3 Test procedure

At a constant line voltage value, the full torque reference is applied in accordance with the test conditions.

The tests comprise of the measurement of one or more of the following specified characteristics:

- line current;

- line power;
- input fundamental power factor (in case of AC input);
- torque.

#### **11.4 Acceptance criteria**

The input power (or input current, or torque, or input fundamental power factor) at each operating point specified in the test conditions shall be as specified.

### **12 System protection test**

#### **12.1 General**

The aim of this test is to verify that system protection functions work correctly.

Where it has no influence on the test result, the carrying out of tests on the traction system under test without some components or without a high voltage power supply should generally be accepted.

As a minimum, the tests shall not adversely affect the traction system. The traction system shall continue to deliver the expected performance without permanent damage, even in the most severe operating conditions.

NOTE Other system protection tests that are not included in the Clause 12 are subject to agreement between the user and manufacturer.

#### **12.2 Rapid voltage changes test**

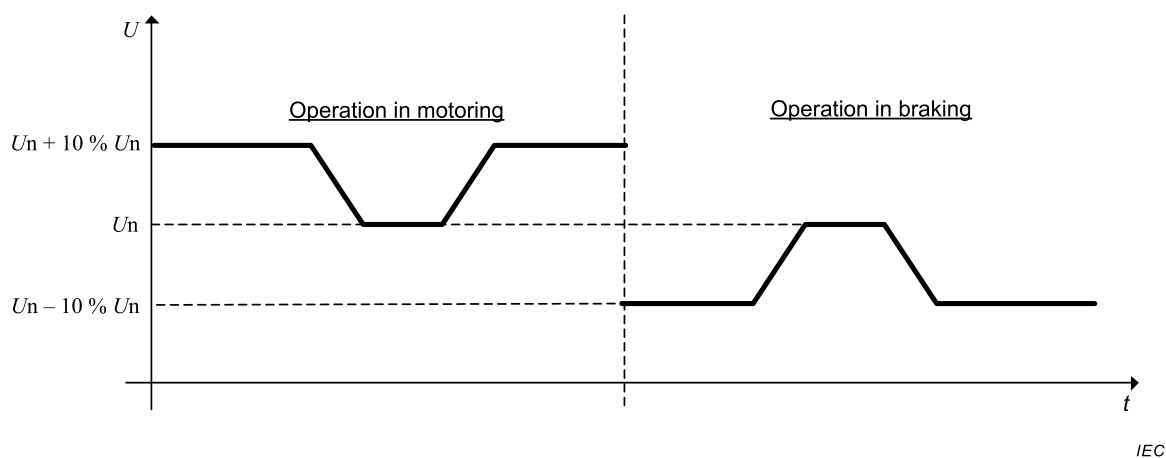
##### **12.2.1 Test objective**

The aim of this test is to check that the traction system is able to sustain a rapid voltage change (substation changes, load changes on the line).

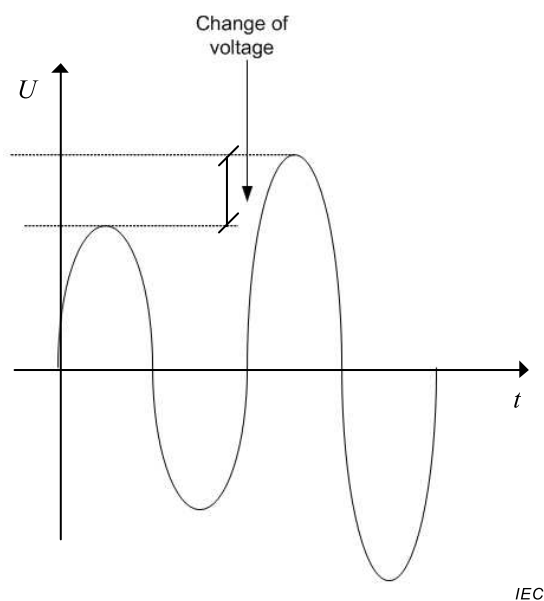
##### **12.2.2 Test conditions**

The supply voltage shall be increased suddenly from approximately the nominal supply voltage.

The line voltage shall jump from  $U_n + 10\% U_n$  to  $U_n$  and back in motoring mode, and from  $U_n - 10\% U_n$  to  $U_n$  and back in braking mode at full power in traction and at the maximum regenerated braking current obtainable (if regenerative braking is applicable), as in Figure 17 and Figure 18. The rise time and fall time of the voltage changes is subject to agreement between the user and manufacturer.



**Figure 17 – Rapid voltage change with DC line voltage**

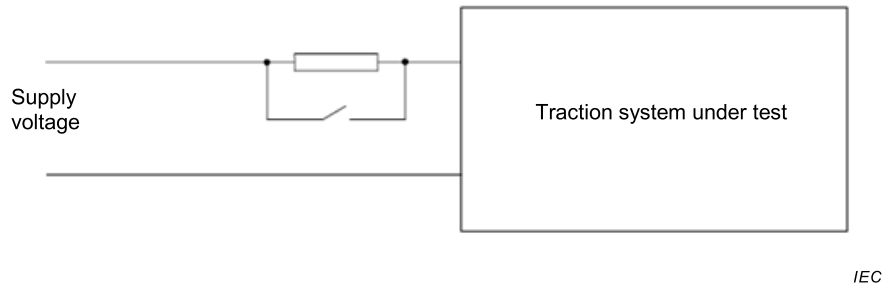


**Figure 18 – Rapid voltage change with AC line voltage**

### 12.2.3 Test procedure

The test may be performed by the following methods:

- using the controller of the test bench power supply;
- using a contactor in parallel with a resistor connected as in Figure 19, which gives an example of possible circuit configuration;
- using a tap-changer.



**Figure 19 – Example of method to create a rapid voltage change**

#### **12.2.4 Acceptance criteria**

The traction system should sustain the voltage change without interruption of operation.

### **12.3 Traction supply voltage interruption**

#### **12.3.1 Test objective**

The aim of this test is to check that the traction system reacts to a voltage interruption, as specified in IEC 60850 or the specification, generally caused by circuit breakers tripping and auto-reclosing operations after the detection of faults.

#### **12.3.2 Test conditions**

The voltage is interrupted, for a period less than 10 s, at nominal voltage, at full power in motoring and at the maximum regenerated braking current obtainable (if regenerative braking is applicable).

NOTE The duration of interruption is according to power supply characteristics or it is possible to refer to IEC 60850 if not specified.

All protective devices, including no-voltage protection devices, shall be in operation for these tests.

#### **12.3.3 Test procedure**

For motoring and regenerative braking, the external supply voltage shall be disconnected and reconnected (e.g. by means of the circuit-breaker) with the total time of interruption, as defined in the test conditions.

#### **12.3.4 Acceptance criteria**

The traction system shall react as specified without damage.

NOTE IEC 62313 gives the requirements of the coordination between the traction system and the power supply.

### **12.4 Traction supply contact loss**

#### **12.4.1 Test objective**

The aim of this test is to check that the traction system reacts to a voltage contact loss in order to simulate the train condition of a pantograph bouncing or crossing a neutral section, etc.

#### **12.4.2 Test conditions**

The voltage contact is lost, for a period between 10 ms and 200 ms or based on an agreement between the user and manufacturer, at nominal voltage, at full power in motoring

and at the maximum regenerated braking current obtainable (if regenerative braking is applicable).

NOTE It is accepted that during contact loss the input voltage of the traction system does not go to 0 V.

### 12.4.3 Test procedure

For motoring and regenerative braking, the external supply voltage shall be disconnected and reconnected, e.g. as in Figure 20, with the total time of contact loss, as defined in the test conditions.

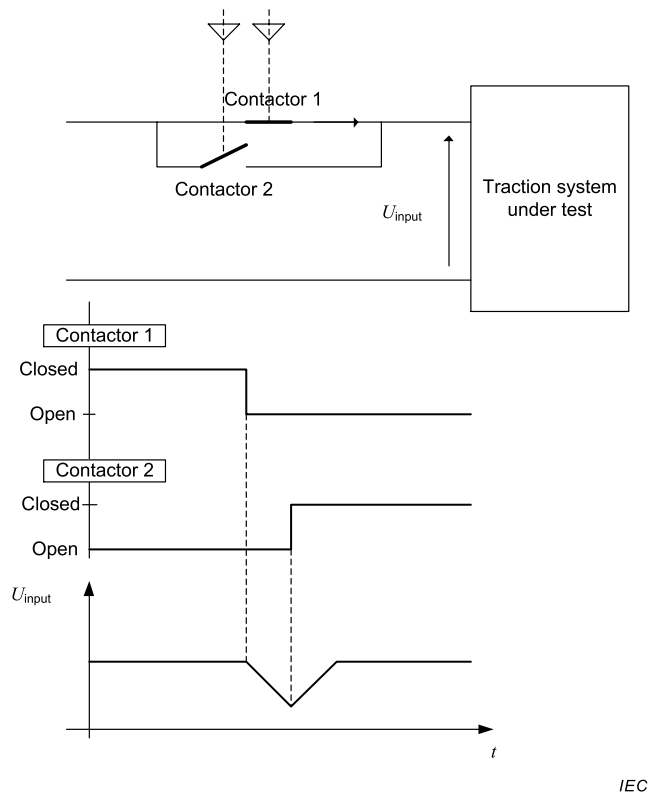


Figure 20 – Example of method to simulate the traction supply contact loss

### 12.4.4 Acceptance criteria

The traction system shall react as specified without damage.

## 12.5 Sudden loss of regeneration capability

### 12.5.1 Test objective

The aim of this test is to simulate a loss of regenerative capacity in order to check that the transition takes place from regenerative to rheostatic braking.

The test is only applicable if rheostatic braking system is available.

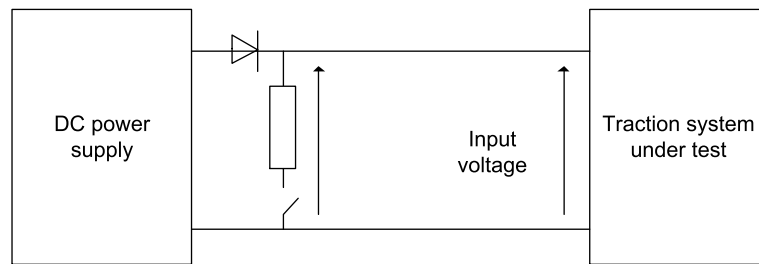
### 12.5.2 Test conditions

At nominal voltage, the regeneration capability is interrupted at maximum regenerated braking power obtainable.

### 12.5.3 Test procedure

The interruption of regeneration capability may be obtained through the following methods for AC and DC line, for example:

- disconnect the power supply;
- block the regenerative capability of the power supply (e.g. using of non-regenerative power supply and resistive load in parallel as shown in Figure 21 for DC).



IEC

**Figure 21 – Example of method to create loss of regenerative capability**

### 12.5.4 Acceptance criteria

A smooth transition from regenerative braking to rheostatic braking should occur without significant torque variation.

NOTE It is possible to measure the motor current instead of measuring the torque directly.

The input voltage shall remain below the specified maximum value.

## 12.6 Traction inverter stop

### 12.6.1 Test objective

The aim of this test is to verify that after a sudden load reduction as a consequence of immediate switch-off of a traction inverter, the traction system does not suffer damage.

### 12.6.2 Test conditions

The test shall be done at the following operating points, in braking and motoring:

- maximum power (for all type of motors);
- 90 % of maximum motor working speed in normal operation (only in case of PMM).

### 12.6.3 Test procedure

When conditions described in 12.6.2 are reached, all inverters connected to a common DC link shall be stopped through immediate switch-off of traction inverter semi-conductor command pulses.

If inverters are on a common DC link but are independently controlled and protected, it is not necessary to stop them at the same time.

### 12.6.4 Acceptance criteria

The system shall be able to restart and resume operation as before according to a specified sequence (fault resetting).

## **12.7 Temperature calculation functions**

### **12.7.1 General**

The temperatures calculated in the traction system are internal values, which are used for protection functions.

For relevant components and only when the traction system is equipped with temperature calculation functions as protection functions, the temperature calculation functions done by the traction control equipment of the traction system shall be validated during the temperature rise test (Clause 9).

NOTE The over-temperature protection functions are validated during software validation or during some device tests.

### **12.7.2 Test objective**

The aim of this test is to validate the temperature calculation functions as a basis for the protection function.

### **12.7.3 Test conditions**

Refer to Clause 9.

### **12.7.4 Test procedure**

Refer to Clause 9.

### **12.7.5 Acceptance criteria**

The temperature calculation functions meet their purpose.

## **12.8 Over-current and over-voltage protection**

The test shall be done during the component and the converter type tests according to IEC 61287-1.

## **12.9 Control battery supply interruption**

### **12.9.1 Test objective**

The aim of this test is to verify that the traction system under test does not suffer damage during control battery supply interruption.

### **12.9.2 Test conditions**

The test shall be done at the following operating points, in braking and motoring:

- maximum power (for all type of motors);
- 90 % of maximum motor working speed in normal operation (only in case of PMM).

If there are restrictions due to the possibility of damage to the test bench facilities, it is permitted to perform this test in a low voltage condition or by using a different load instead of motors.

### **12.9.3 Test procedure**

When conditions described above are reached, the control battery power supply shall be interrupted.

#### **12.9.4 Acceptance criteria**

The system shall be able to restart and resume operation as before according to the specified sequence (fault resetting).

### **13 Fault management test**

#### **13.1 General**

The aim of this test is to test the management of faults inside the traction system by monitoring:

- fault detection;
- protective function;
- fault indication;
- remedy action (if applicable).

The test methods shall initiate the protective functions. Hardware simulating the fault condition is accepted.

If it does not have influence on the test result, carrying out tests with traction system under test without some components or without high voltage power supply should generally be acceptable.

If parts (or all) of the functions have been tested at the component level, it is permitted to test only the remaining functions.

The acceptance criteria for the test in the following subclauses are that the traction system under test does not suffer damage and the correct fault detection, the correct protective function, the correct fault indication and the remedy action (if applicable) are applied.

#### **13.2 Loss of sensor function**

Relevant for this test are sensor faults (e.g. voltage transducers, current transducers, temperature transducers).

It is permitted to perform this test by creating fault conditions for the sensors in the off-state, before start-up of the system.

#### **13.3 Loss of command and feedback signals**

Relevant for this test are the loss of hardware command and feedback signals for components (e.g. main circuit-breaker, contactors).

It is permitted to perform this test by creating fault conditions for the signal in the off-state, before start-up of the system.

#### **13.4 Fault in cooling systems**

Relevant for this test are interruptions or reductions in cooling performance. Examples are:

- stopped or reduced speed of components, e.g. pumps, fans;
- interrupted or reduced cooling medium flow.

It is permitted to perform this test by creating fault conditions in the off-state, before start-up of the system.

### **13.5 Earth and short-circuit faults**

The user shall specify in the specification whether the traction system is earth faults and short-circuit proof or not.

Relevant for this test are earth faults or short-circuit conditions as specified. Faults occurring inside components may be excluded.

For example, the test cases should be the following:

- at the DC link (including resonant circuit if applicable);
- at the output;
- at the input;
- at the braking rheostat.

It is permitted to perform this test by creating a fault condition in the off-state, before start-up of the system.

If there are restrictions due to the possibility of damage to the test bench facilities, the test method shall be defined by agreement between the user and manufacturer.

## Annex A (normative)

### List of combined tests

**Table A.1 – List of combined tests**

| No. of test | Specified in clause/<br>subclause | Test case                                                               | Mandatory tests        | Optional tests, subject to agreement |
|-------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| 1           | 7.2                               | Torque characteristics test at motor hot                                | X                      |                                      |
| 2           | 7.3                               | Torque characteristics test at motor cold                               | X                      |                                      |
| 3           | 7.4                               | Starting torque at zero speed                                           |                        | X                                    |
| 4           | 8.2                               | Efficiency characteristics                                              |                        | X<br>(alternative to 8.3)            |
| 5           | 8.3                               | Energy consumption on route profile                                     |                        | X<br>(alternative to 8.2)            |
| 6           | 9.2                               | Temperature rise test at constant load                                  | X<br>(alternative 9.3) |                                      |
| 7           | 9.3                               | Temperature rise on route profile                                       | X<br>(alternative 9.2) |                                      |
| 8           | 9.4                               | Test with wheel diameter differences for paralleled asynchronous motors |                        | X                                    |
| 9           | 10.1                              | Start from backward/reverse motion                                      |                        | X                                    |
| 10          | 10.2                              | Motoring-braking transition                                             | X                      |                                      |
| 11          | 11                                | Variation of line voltage                                               | X                      |                                      |
| 12          | 12.2                              | Rapid voltage changes test                                              |                        | X                                    |
| 13          | 12.3                              | Traction supply voltage interruption                                    |                        | X                                    |
| 14          | 12.4                              | Traction supply contact loss                                            |                        | X                                    |
| 15          | 12.5                              | Sudden loss of regeneration capability                                  | X                      |                                      |
| 16          | 12.6                              | Traction inverter stop                                                  |                        | X                                    |
| 17          | 12.7                              | Temperature calculation function                                        |                        | X                                    |
| 18          | 12.8                              | Over-current and over-voltage protection                                |                        | X                                    |
| 19          | 12.9                              | Control battery supply interruption                                     |                        | X                                    |
| 20          | 13.2                              | Loss of sensor function                                                 |                        | X                                    |
| 21          | 13.3                              | Loss of command and feedback signals                                    |                        | X                                    |
| 22          | 13.4                              | Fault in cooling systems                                                |                        | X                                    |
| 23          | 13.5                              | Earth and short-circuit faults                                          |                        | X                                    |
| 24          | C.3                               | Commutation test (only for DC motor)                                    | X                      |                                      |

## Annex B (informative)

### List of clauses with agreements between the user and manufacturer

**Table B.1 – List of subclauses including agreements  
between the user and manufacturer**

| Clause/<br>Subclause<br>number | Clause/Subclause title              | Clause/Subclause title                 | Subject                                                                                                                           |
|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                              |                                     | Scope                                  | Representativeness of the traction system under test versus the traction system and deviations                                    |
| 4                              |                                     | Traction system characteristics        | Level of voltage of the supply, reference temperature of the motor and difference in internal characteristics measurement results |
| 5                              |                                     | General test requirements              | Optional test, needs to repeat type test in case of existing traction system, modifications, and test on vehicle                  |
| 6.1.1                          | Setup of traction system under test | General test conditions                | Components to be equipped with temperature sensors                                                                                |
| 6.1.2.2                        | Test bench power supply             | General test conditions                | Voltage range or power limitation of the power supply                                                                             |
| 6.2                            | Cooling during the test             | General test conditions                | Simulations of the cooling and ambient temperature correction                                                                     |
| 6.3.1                          | General                             | Mechanical output measurement          | Alternative methods to measure the mechanical output                                                                              |
| 7.1                            | General                             | Torque characteristic test             | Measurement of $\frac{1}{4}$ , $\frac{1}{2}$ and $\frac{3}{4}$ of the maximum torque reference                                    |
| 7.2.2                          | Test conditions                     | Torque characteristic test             | Stator winding temperatures                                                                                                       |
| 8.1                            | General                             | Efficiency and energy consumption test | Measurement of efficiency or of energy consumption                                                                                |
| 8.3.3                          | Test procedure                      | Efficiency and energy consumption test | Energy consumption measurement method                                                                                             |
| 9.1                            | General                             | Temperature rise test                  | Temperature rise test method                                                                                                      |
| 9.2.1                          | Test objective                      | Temperature rise test                  | Ratings of the system                                                                                                             |
| 9.2.2                          | Test conditions                     | Temperature rise test                  | Ratings of the system                                                                                                             |
| 9.3.1                          | Test objective                      | Temperature rise test                  | Ratings of the system                                                                                                             |
| 9.4.4.2.1                      | General                             | Temperature rise test                  | Calculation method instead of test                                                                                                |
| 9.4.4.3.1                      | General                             | Temperature rise test                  | Calculation method instead of test                                                                                                |
| 12.1                           | General                             | System protection test                 | Other system protection tests                                                                                                     |
| 12.2.2                         | Test conditions                     | System protection test                 | The rise time and fall time of the voltage changes                                                                                |
| 12.4.2                         | Test conditions                     | System protection test                 | Period of the voltage contact loss                                                                                                |
| 13.5                           | Earth and short-circuit faults      | Fault management test                  | Test method                                                                                                                       |
| Annex A                        | Table A.1 – List of combined tests  | (normative)<br>List of combined tests  | Optional tests                                                                                                                    |

## Annex C (normative)

### Special test items and conditions for DC motors

#### C.1 General

Special conditions and test items for DC motors are specified in this annex.

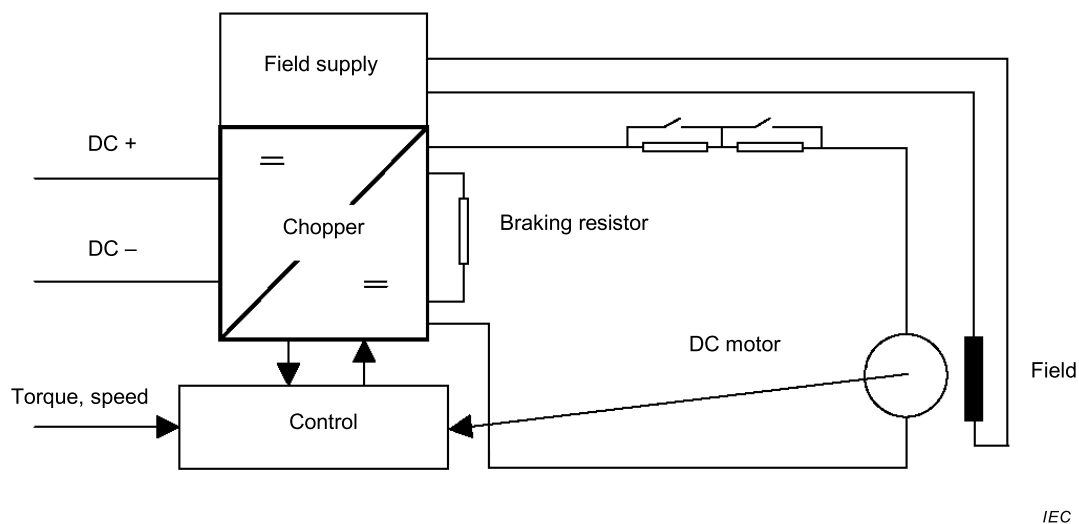
The following clauses are not applicable to DC motors:

- 9.4 Test with wheel diameter differences for paralleled asynchronous motors (Figure 13 and formula of slip are not applicable);
- 10.2 Motoring-braking transition.

#### C.2 Test bench architecture

##### C.2.1 Test setup

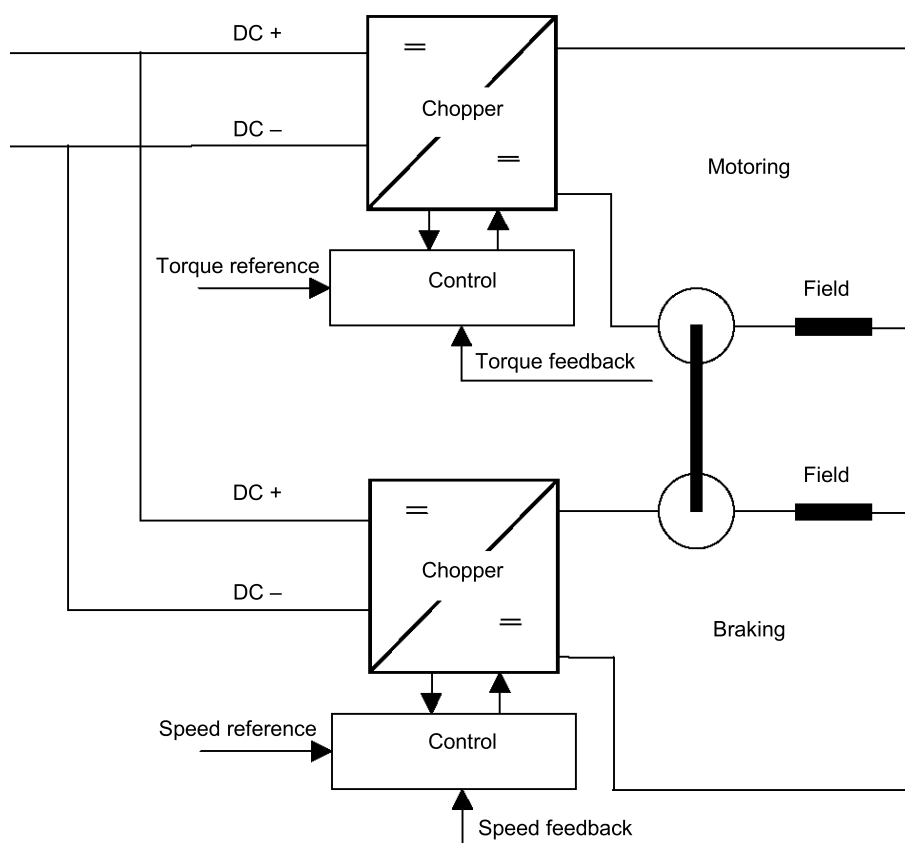
An example of the configuration for braking with separately excited DC motor is shown in Figure C.1.



**Figure C.1 – Example of braking configuration for a traction system  
under test with separately excited DC motor**

##### C.2.2 Load system

The arrangement for back to back test for a chopper and DC motor is shown in Figure C.2.



IEC

**Figure C.2 – Test bench arrangement for back to back test of the traction system under test with a DC motor**

### C.3 Commutation test

The commutation test on DC motors shall be carried out in accordance with IEC 60349-1.

The test defined in 8.3.2 and 8.3.3, point 1 (Com 1), of IEC 60349-1, shall be carried out in both motoring and braking, at maximum working speed and maximum current, with the supply voltage generating the worst current ripple condition.

The test defined in 8.3.2 and 8.3.3, point 3 (Com 3), of IEC 60349-1, shall be carried out at the worst ripple condition.

## Bibliography

IEC 60050-411, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 411: Rotating machinery*

IEC 60050-551, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 551: Power electronics*

IEC 60050-811, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 811: Electric traction*

IEC 60077-3, *Railway applications – Electric equipment for rolling stock – Part 3: Electrotechnical components – Rules for d.c. circuit-breakers*

IEC 60077-4, *Railway applications – Electric equipment for rolling stock – Part 4: Electrotechnical components – Rules for AC circuit-breakers*

IEC 60310, *Railway applications – Traction transformers and inductors on board rolling stock*

IEC 60322, *Railway applications – Electric equipment for rolling stock – Rules for power resistors of open construction*

IEC 60571, *Railway applications – Electronic equipment used on rolling stock*

IEC 62236-3-1, *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 3-1: Rolling stock – Train and complete vehicle*

IEC 62236-3-2, *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 3-2: Rolling stock – Apparatus*

IEC 62498-1, *Railway applications – Environmental conditions for equipment – Part 1: Equipment on board rolling stock*

ISO 14253-2, *Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 2: Guidance for the estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification*

ISO 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty of measurement (GUM)*

ISO/IEC Guide 99, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

---



## SOMMAIRE

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS .....                                           | 52 |
| 1 Domaine d'application .....                                | 54 |
| 2 Références normatives .....                                | 57 |
| 3 Termes et définitions .....                                | 57 |
| 4 Caractéristiques du système de traction .....              | 60 |
| 5 Exigences générales d'essai .....                          | 61 |
| 6 Conditions générales d'essai .....                         | 62 |
| 6.1 Montage d'essai.....                                     | 62 |
| 6.1.1 Montage du système de traction en essai .....          | 62 |
| 6.1.2 Architecture du banc d'essai.....                      | 62 |
| 6.2 Refroidissement pendant l'essai.....                     | 66 |
| 6.3 Mesurage de la puissance mécanique de sortie .....       | 66 |
| 6.3.1 Généralités .....                                      | 66 |
| 6.3.2 Méthode par sommation des pertes .....                 | 66 |
| 6.3.3 Méthode par comparaison de puissance .....             | 68 |
| 6.3.4 Méthode par comparaison de courant .....               | 69 |
| 6.3.5 Méthode dos à dos .....                                | 69 |
| 6.4 Tolérances et exactitude de mesure.....                  | 70 |
| 6.5 Conditions d'environnement.....                          | 70 |
| 7 Essai des caractéristiques de couple .....                 | 70 |
| 7.1 Généralités .....                                        | 70 |
| 7.2 Essai des caractéristiques de couple, moteur chaud ..... | 71 |
| 7.2.1 Objectif de l'essai .....                              | 71 |
| 7.2.2 Conditions d'essai .....                               | 71 |
| 7.2.3 Procédure d'essai.....                                 | 71 |
| 7.2.4 Critères d'acceptation .....                           | 72 |
| 7.3 Essai des caractéristiques de couple, moteur froid.....  | 72 |
| 7.3.1 Objectif de l'essai .....                              | 72 |
| 7.3.2 Conditions d'essai .....                               | 72 |
| 7.3.3 Procédure d'essai.....                                 | 73 |
| 7.3.4 Critères d'acceptation .....                           | 73 |
| 7.4 Couple de démarrage à vitesse nulle .....                | 73 |
| 7.4.1 Objectif de l'essai .....                              | 73 |
| 7.4.2 Conditions d'essai .....                               | 73 |
| 7.4.3 Procédure d'essai.....                                 | 73 |
| 7.4.4 Critères d'acceptation .....                           | 73 |
| 8 Rendement et essai de consommation d'énergie .....         | 73 |
| 8.1 Généralités .....                                        | 73 |
| 8.2 Caractéristiques de rendement .....                      | 74 |
| 8.2.1 Objectif de l'essai .....                              | 74 |
| 8.2.2 Conditions d'essai .....                               | 74 |
| 8.2.3 Procédure d'essai.....                                 | 74 |
| 8.2.4 Critères d'acceptation .....                           | 74 |
| 8.3 Consommation d'énergie sur profil d'itinéraire.....      | 75 |
| 8.3.1 Objectif de l'essai .....                              | 75 |

|        |                                                                                          |    |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8.3.2  | Conditions d'essai .....                                                                 | 75 |
| 8.3.3  | Procédure d'essai .....                                                                  | 75 |
| 8.3.4  | Critères d'acceptation .....                                                             | 75 |
| 9      | Essai d'échauffement .....                                                               | 76 |
| 9.1    | Généralités .....                                                                        | 76 |
| 9.2    | Essai d'échauffement à charge constante .....                                            | 76 |
| 9.2.1  | Objectif de l'essai .....                                                                | 76 |
| 9.2.2  | Conditions d'essai .....                                                                 | 76 |
| 9.2.3  | Procédure d'essai .....                                                                  | 76 |
| 9.2.4  | Critères d'acceptation .....                                                             | 77 |
| 9.3    | Échauffement sur profil d'itinéraire .....                                               | 77 |
| 9.3.1  | Objectif de l'essai .....                                                                | 77 |
| 9.3.2  | Conditions d'essai .....                                                                 | 77 |
| 9.3.3  | Procédure d'essai .....                                                                  | 77 |
| 9.3.4  | Critères d'acceptation .....                                                             | 78 |
| 9.4    | Essai avec différences de diamètre des roues pour moteurs asynchrones en parallèle ..... | 78 |
| 9.4.1  | Généralités .....                                                                        | 78 |
| 9.4.2  | Objectif de l'essai .....                                                                | 78 |
| 9.4.3  | Conditions d'essai .....                                                                 | 79 |
| 9.4.4  | Procédure d'essai .....                                                                  | 79 |
| 10     | Essai de fonctionnement du système .....                                                 | 80 |
| 10.1   | Essai de la fonction antirecul .....                                                     | 80 |
| 10.1.1 | Objectif de l'essai .....                                                                | 80 |
| 10.1.2 | Conditions d'essai .....                                                                 | 81 |
| 10.1.3 | Procédure d'essai .....                                                                  | 81 |
| 10.1.4 | Critères d'acceptation .....                                                             | 81 |
| 10.2   | Transition traction-freinage .....                                                       | 81 |
| 10.2.1 | Objectif de l'essai .....                                                                | 81 |
| 10.2.2 | Conditions d'essai .....                                                                 | 81 |
| 10.2.3 | Procédure d'essai .....                                                                  | 82 |
| 10.2.4 | Critères d'acceptation .....                                                             | 82 |
| 11     | Variation de la tension d'alimentation .....                                             | 82 |
| 11.1   | Objectif de l'essai .....                                                                | 82 |
| 11.2   | Conditions d'essai .....                                                                 | 82 |
| 11.3   | Procédure d'essai .....                                                                  | 84 |
| 11.4   | Critères d'acceptation .....                                                             | 84 |
| 12     | Essai des systèmes de protection .....                                                   | 84 |
| 12.1   | Généralités .....                                                                        | 84 |
| 12.2   | Essai de variation brusque de tension .....                                              | 84 |
| 12.2.1 | Objectif de l'essai .....                                                                | 84 |
| 12.2.2 | Conditions d'essai .....                                                                 | 84 |
| 12.2.3 | Procédure d'essai .....                                                                  | 85 |
| 12.2.4 | Critères d'acceptation .....                                                             | 86 |
| 12.3   | Interruption de la tension d'alimentation de traction .....                              | 86 |
| 12.3.1 | Objectif de l'essai .....                                                                | 86 |
| 12.3.2 | Conditions d'essai .....                                                                 | 86 |
| 12.3.3 | Procédure d'essai .....                                                                  | 86 |
| 12.3.4 | Critères d'acceptation .....                                                             | 86 |

|                                                                                                                |                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 12.4                                                                                                           | Perte de contact de la tension d'alimentation de traction.....           | 87 |
| 12.4.1                                                                                                         | Objectif de l'essai .....                                                | 87 |
| 12.4.2                                                                                                         | Conditions d'essai .....                                                 | 87 |
| 12.4.3                                                                                                         | Procédure d'essai.....                                                   | 87 |
| 12.4.4                                                                                                         | Critères d'acceptation .....                                             | 88 |
| 12.5                                                                                                           | Perte brusque de la capacité de récupération .....                       | 88 |
| 12.5.1                                                                                                         | Objectif de l'essai .....                                                | 88 |
| 12.5.2                                                                                                         | Conditions d'essai .....                                                 | 88 |
| 12.5.3                                                                                                         | Procédure d'essai.....                                                   | 88 |
| 12.5.4                                                                                                         | Critères d'acceptation .....                                             | 88 |
| 12.6                                                                                                           | Arrêt de l'onduleur de traction .....                                    | 89 |
| 12.6.1                                                                                                         | Objectif de l'essai .....                                                | 89 |
| 12.6.2                                                                                                         | Conditions d'essai .....                                                 | 89 |
| 12.6.3                                                                                                         | Procédure d'essai.....                                                   | 89 |
| 12.6.4                                                                                                         | Critères d'acceptation .....                                             | 89 |
| 12.7                                                                                                           | Fonctions de calcul de la température.....                               | 89 |
| 12.7.1                                                                                                         | Généralités.....                                                         | 89 |
| 12.7.2                                                                                                         | Objectif de l'essai .....                                                | 89 |
| 12.7.3                                                                                                         | Conditions d'essai .....                                                 | 89 |
| 12.7.4                                                                                                         | Procédure d'essai.....                                                   | 89 |
| 12.7.5                                                                                                         | Critères d'acceptation .....                                             | 89 |
| 12.8                                                                                                           | Protection contre les surintensités et la surtension .....               | 90 |
| 12.9                                                                                                           | Interruption de l'alimentation de la batterie de contrôle-commande ..... | 90 |
| 12.9.1                                                                                                         | Objectif de l'essai .....                                                | 90 |
| 12.9.2                                                                                                         | Conditions d'essai .....                                                 | 90 |
| 12.9.3                                                                                                         | Procédure d'essai.....                                                   | 90 |
| 12.9.4                                                                                                         | Critères d'acceptation .....                                             | 90 |
| 13                                                                                                             | Essai de gestion des défauts .....                                       | 90 |
| 13.1                                                                                                           | Généralités .....                                                        | 90 |
| 13.2                                                                                                           | Perte de la fonction de détection.....                                   | 91 |
| 13.3                                                                                                           | Pertes des signaux de commande et de retour.....                         | 91 |
| 13.4                                                                                                           | Défaut des systèmes de refroidissement.....                              | 91 |
| 13.5                                                                                                           | Défauts de terre et de court-circuit.....                                | 91 |
| Annexe A (normative) Liste des essais combinés.....                                                            |                                                                          | 92 |
| Annexe B (informative) Liste des articles faisant l'objet d'accords entre l'exploitant et le constructeur..... |                                                                          | 93 |
| Annexe C (normative) Éléments et conditions d'essai spéciaux pour moteurs à courant continu.....               |                                                                          | 94 |
| C.1                                                                                                            | Généralités .....                                                        | 94 |
| C.2                                                                                                            | Architecture du banc d'essai .....                                       | 94 |
| C.2.1                                                                                                          | Montage d'essai .....                                                    | 94 |
| C.2.2                                                                                                          | Système de charge .....                                                  | 95 |
| C.3                                                                                                            | Essai de commutation.....                                                | 95 |
| Bibliographie.....                                                                                             |                                                                          | 97 |
| Figure 1 – Présentation de l'architecture du système de traction.....                                          |                                                                          | 55 |
| Figure 2 – Exemple de relation entre le “système de traction en essai” et le “système de traction” .....       |                                                                          | 56 |

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 3 – Système de traction – relation entre l’exploitant, les fournisseurs et le constructeur.....                                         | 58 |
| Figure 4 – Exemple d’évolution du ou des graphe(s) de température sur profil d’itinéraire.....                                                 | 61 |
| Figure 5 – Exemple d’architecture de banc d’essai avec système de charge à vitesse réglable .....                                              | 63 |
| Figure 6 – Exemple d’architecture de banc d’essai avec méthode dos à dos .....                                                                 | 64 |
| Figure 7 – Exemples de simulation des charges auxiliaires et de l’alimentation électrique des charges de traction .....                        | 65 |
| Figure 8 – Exemple de mesurage utilisant la méthode par sommation des pertes .....                                                             | 67 |
| Figure 9 – Exemple de mesurage utilisant la méthode par comparaison de puissance .....                                                         | 68 |
| Figure 10 – Exemple de mesurage utilisant la méthode par comparaison de courant .....                                                          | 69 |
| Figure 11 – Exemple de mesurage utilisant la méthode dos à dos .....                                                                           | 69 |
| Figure 12 – Caractéristiques de couple d’un système de traction .....                                                                          | 72 |
| Figure 13 – Effet de l’écart de diamètre des roues sur la caractéristique de couple de moteur asynchrone .....                                 | 79 |
| Figure 14 – Conditions d’essai pour transition traction-freinage .....                                                                         | 82 |
| Figure 15 – Conditions d’essai dans la plage de tensions du système de traction .....                                                          | 83 |
| Figure 16 – Conditions d’essai pour la variation de la tension .....                                                                           | 83 |
| Figure 17 – Variation brusque de tension avec tension d’alimentation en courant continu.....                                                   | 85 |
| Figure 18 – Variation brusque de tension avec tension d’alimentation en courant alternatif .....                                               | 85 |
| Figure 19 – Exemple de méthode de génération d’une variation brusque de tension .....                                                          | 86 |
| Figure 20 – Exemple de méthode de simulation de la perte de contact de la tension d’alimentation de traction .....                             | 87 |
| Figure 21 – Exemple de méthode de génération de la perte de la capacité de récupération .....                                                  | 88 |
| Figure C.1 – Exemple de configuration de freinage pour un système de traction en essai avec moteur à courant continu à excitation séparée..... | 94 |
| Figure C.2 – Disposition du banc d’essai pour l’essai dos à dos du système de traction en essai avec moteur à courant continu .....            | 95 |
| Tableau A.1 – Liste des essais combinés.....                                                                                                   | 92 |
| Tableau B.1 – Liste des paragraphes comprenant des accords entre l’exploitant et le constructeur.....                                          | 93 |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

---

### **APPLICATIONS FERROVIAIRES – MATÉRIEL ROULANT – MÉTHODE D'ESSAIS COMBINÉS POUR SYSTÈMES DE TRACTION**

#### **AVANT-PROPOS**

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

La Norme internationale IEC 61377 a été établie par le comité d'études 9 de l'IEC: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

Cette édition annule et remplace l'IEC 61377-1 (2006), l'IEC 61377-2 (2002) et l'IEC 61377-3 (2002). Elle constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport aux éditions précédentes: elle comprend les mises à jour nécessaires pour répondre à l'état actuel de la technique, ainsi que pour clarifier et générer une édition tenant compte de tous les types de moteurs faisant partie du système de traction.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS        | Rapport de vote |
|-------------|-----------------|
| 9/2078/FDIS | 9/2113/RVD      |

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

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

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

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

## **APPLICATIONS FERROVIAIRES – MATÉRIEL ROULANT – MÉTHODE D'ESSAIS COMBINÉS POUR SYSTÈMES DE TRACTION**

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

La présente Norme internationale s'applique au système de traction constitué de (le cas échéant) moteur(s) de traction, convertisseur(s), équipement de régulation de traction y compris logiciel, transformateur, filtres d'entrée, résistances de freinage, disjoncteur principal, équipement de refroidissement, transducteurs, contacteurs, etc.

La Figure 1 constitue seulement une présentation, elle n'est pas représentative de toutes les architectures de système de traction.

L'appareil de prise de courant, les systèmes de freinage mécanique et les engrenages ne relèvent pas du domaine d'application de la présente Norme.

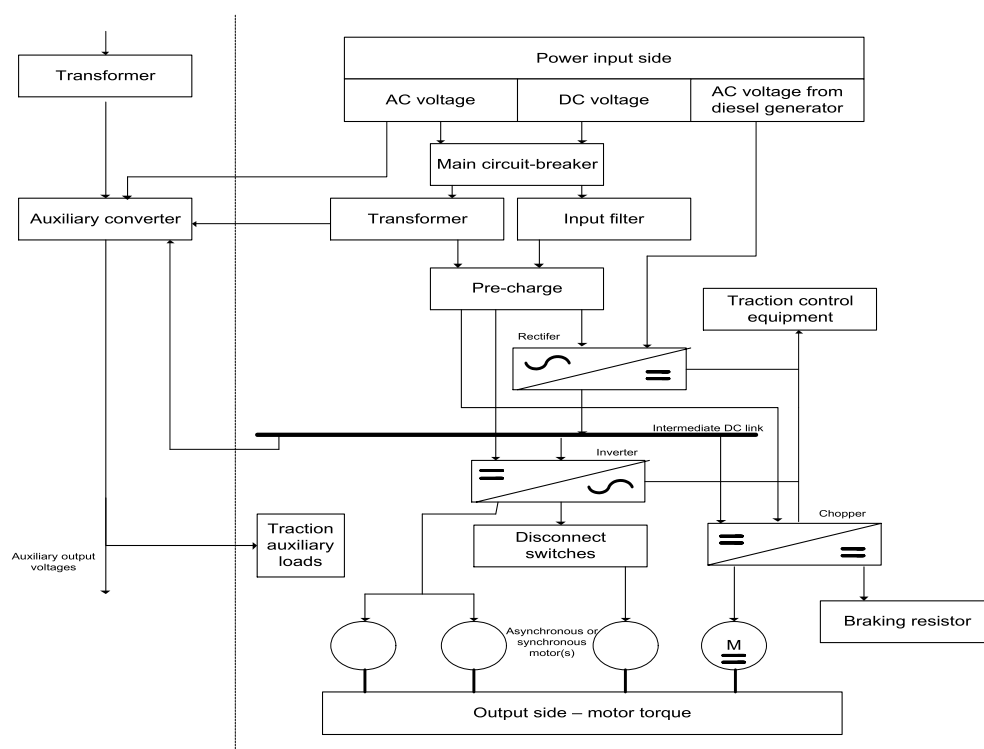
Les types de moteurs applicables dans la présente Norme sont les moteurs asynchrones, les moteurs synchrones y compris les moteurs à aimant permanent (ou PMM: permanent magnet motor), ou les moteurs à courant continu.

Le ou les convertisseurs auxiliaires relèvent du domaine d'application lorsqu'ils sont enfermés dans le convertisseur de traction. Sinon, lorsque le système de traction alimente un système auxiliaire à l'extérieur du convertisseur de traction, le système auxiliaire peut être remplacé par une charge équivalente.

NOTE 1 Le système de stockage d'énergie n'est pas pris en compte dans la présente Norme dans la mesure où il n'existe aucune norme d'essai de type spécifique applicable à ce système.

NOTE 2 La validation des charges auxiliaires n'est pas traitée dans la présente Norme.

NOTE 3 L'engrenage peut faire partie du montage d'essai, mais il ne fait pas partie du système de traction.



IEC

| Anglais                              | Français                                              |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Transformer                          | Transformateur                                        |
| Power input side                     | Côté puissance d'entrée                               |
| DC voltage                           | Tension à courant continu                             |
| AC voltage                           | Tension à courant alternatif                          |
| AC voltage from diesel generator     | Tension à courant alternatif de la génératrice diesel |
| Main circuit-breaker                 | Disjoncteur principal                                 |
| Auxiliary converter                  | Convertisseur auxiliaire                              |
| Input filter                         | Filtre d'entrée                                       |
| Pre-charge                           | Précharge                                             |
| Traction control equipment           | Équipement de régulation de traction                  |
| Rectifier                            | Redresseur                                            |
| Intermediate DC link                 | Liaison à courant continu intermédiaire               |
| Inverter                             | Onduleur                                              |
| Chopper                              | Hacheur                                               |
| Auxiliary output voltages            | Tensions de sortie auxiliaire                         |
| Traction auxiliary loads             | Charges auxiliaires de traction                       |
| Disconnect switches                  | Sectionneurs                                          |
| Braking resistor                     | Résistance de freinage                                |
| Asynchronous or synchronous motor(s) | Moteur(s) asynchrone(s) ou synchrone(s)               |
| Output side – motor torque           | Couple moteur – côté sortie                           |

**Figure 1 – Présentation de l'architecture du système de traction**

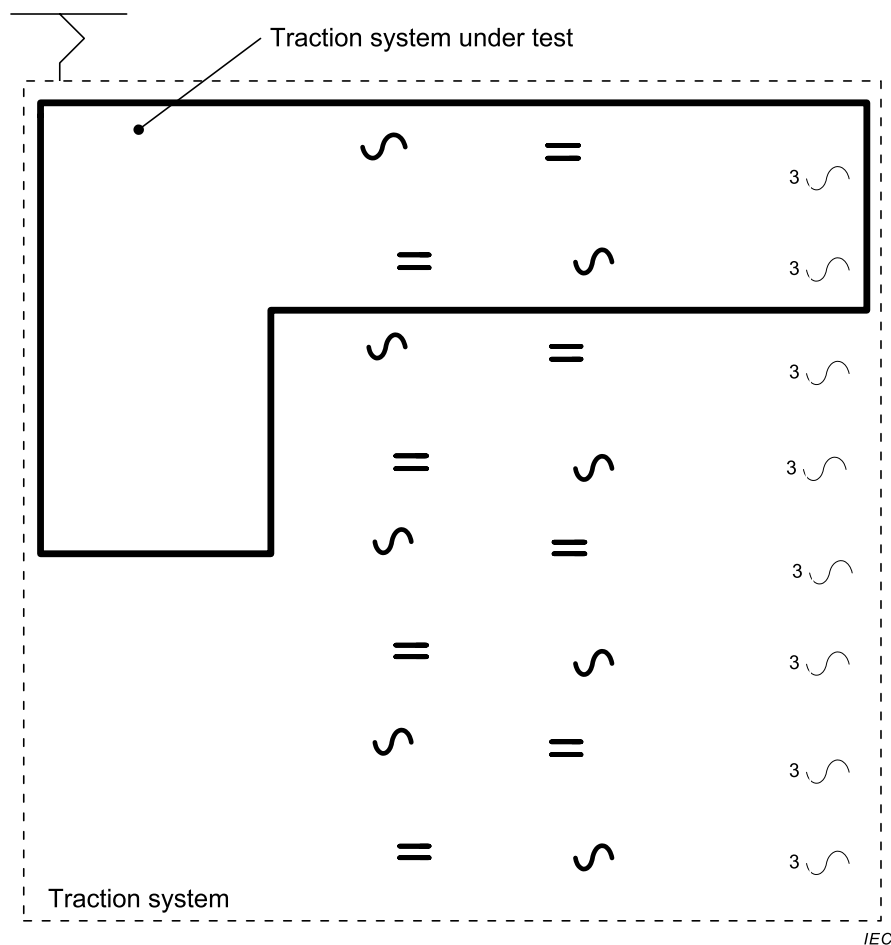
La présente Norme a pour objet de spécifier l'essai de type du système de traction, comprenant principalement:

- l'essai des caractéristiques de performances;
- les méthodes de vérification de ces caractéristiques de performances par des essais.

La présente Norme ne spécifie pas l'essai de type applicable à chaque composant individuel.

Le système de traction en essai comprend au moins une ligne de conversion de traction complète (au moins un convertisseur de traction et ses charges associées, un transformateur en cas d'alimentation en courant alternatif ou un filtre d'entrée en cas d'alimentation en courant continu). La représentativité du système de traction en essai en fonction du système de traction réel fait l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

La Figure 2 donne un exemple de la relation entre le système de traction en essai et l'ensemble du système de traction.



| Anglais                    | Français                     |
|----------------------------|------------------------------|
| Traction system under test | Système de traction en essai |
| Traction system            | Système de traction          |

**Figure 2 – Exemple de relation entre le “système de traction en essai” et le “système de traction”**

Le système de traction en essai est équipé de composants qui sont représentatifs de la série de production.

Des écarts peuvent être admis par accord conclu entre l'exploitant et le constructeur, et sont justifiés du point de vue de l'effet prévu avant l'essai. L'utilisation de composants ou parties analogues est admise si cela n'a pas d'effet significatif prévu sur le résultat d'essai.

## 2 Références normatives

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

IEC 60050 (toutes les parties): *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)* (disponible sous <http://www.electropedia.org>)

IEC 60349-1, *Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers – Partie 1: Machines autres que les moteurs à courant alternatif alimentés par convertisseur électronique*

IEC 60349-2, *Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers – Partie 2: Moteurs à courant alternatif alimentés par convertisseurs électroniques*

IEC TS 60349-3, *Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers – Partie 3: Détermination des pertes totales des moteurs à courant alternatif alimentés par convertisseur par sommation des pertes élémentaires*

IEC 60349-4, *Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers – Partie 4: Machines électriques synchrones à aimants permanents connectées à un convertisseur électronique*

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

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

IEC 61287-1, *Applications ferroviaires – Convertisseurs de puissance embarqués sur le matériel roulant – Partie 1: Caractéristiques et méthodes d'essais*

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

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 60050-411, l'IEC 60050-551, l'IEC 60050-811, ainsi que les suivants s'appliquent:

### 3.1

#### **système de traction**

système qui fournit le couple de traction en convertissant l'énergie d'alimentation d'entrée en énergie mécanique en traction et l'énergie mécanique en énergie électrique ou thermique en freinage (le cas échéant), constitué de l'ensemble de l'équipement de conversion situé entre l'appareil de prise de courant (non compris) et le ou les arbres du moteur et comprenant tous les équipements auxiliaires associés nécessaires au fonctionnement du système

### 3.2

#### **système de traction en essai**

système de traction représentatif pour l'essai combiné, selon l'Article 1

### 3.3

#### **composant**

constituant du système de traction

### 3.4

#### **exploitant**

organisme qui commande le système de traction (voir Figure 3)

Note 1 à l'article: L'exploitant est normalement un organisme qui utilise le véhicule équipé du système de traction, à moins que la responsabilité ne soit déléguée à un maître d'œuvre principal ou à un consultant.

### 3.5

#### **constructeur**

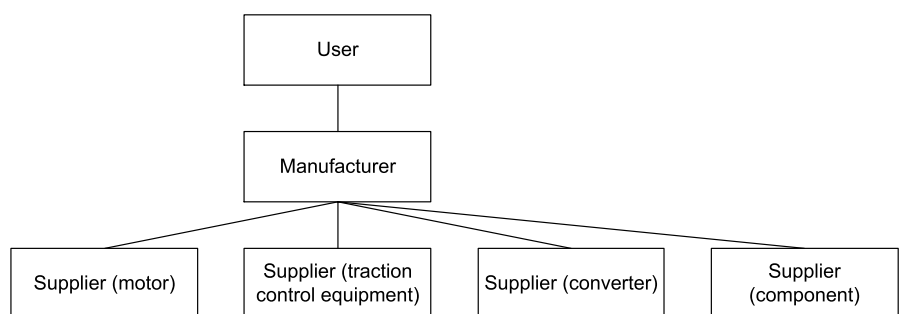
organisme qui a la responsabilité technique de la fourniture du système de traction (voir Figure 3)

Note 1 à l'article: Le constructeur peut être le fournisseur d'un ou de plusieurs composants du système de traction, ou d'aucun d'entre eux.

### 3.6

#### **fournisseur**

organisme qui a la responsabilité d'un ou de plusieurs composants



IEC

| Anglais                      | Français                               |
|------------------------------|----------------------------------------|
| User                         | Exploitant                             |
| Manufacturer                 | Constructeur                           |
| Supplier                     | Fournisseur                            |
| (motor)                      | (moteur)                               |
| (traction control equipment) | (équipement de régulation de traction) |
| (converter)                  | (convertisseur)                        |
| (component)                  | (composant)                            |

**Figure 3 – Système de traction – relation entre l'exploitant, les fournisseurs et le constructeur**

### 3.7

#### **service**

charge à laquelle est soumis le système de traction, y compris la traction, la marche sur l'erre, et le cas échéant, le freinage électrique

### 3.8

#### **cycle de service**

séquence spécifiée de conditions de fonctionnement, par exemple vitesse et couple en fonction du temps sur un itinéraire élémentaire

Note 1 à l'article: Certains exemples d'itinéraire élémentaire sont:

- Train grande ligne: itinéraire entre deux villes, aller et retour;
- Tramway: itinéraire entre deux arrêts;
- Métro: itinéraire entre deux stations.

Note 2 à l'article: Le cycle de service type est défini par accord entre l'exploitant et le constructeur.

### 3.9

#### **profil d'itinéraire**

répétition ou combinaison de cycles de service typiques permettant de stabiliser la température (l'évolution du ou des graphe(s) de température répétitive sur des cycles de service successifs est dans les limites d'une tolérance donnée) ou de représenter le fonctionnement quotidien du véhicule

### 3.10

#### **charge constante**

charge appliquée dans des conditions de fonctionnement constantes (par exemple vitesse, tension)

Note 1 à l'article: Plusieurs charges peuvent être spécifiées.

### 3.11

#### **charge de profil d'itinéraire**

charge basée sur le profil d'itinéraire sur lequel fonctionne le système de traction en essai

### 3.12

#### **vitesse**

vitesse du moteur en r/min

Note 1 à l'article: La vitesse du moteur (r/min) peut être convertie à partir de la vitesse du véhicule (km/h) sur la base du diamètre des roues et du rapport d'engrenage spécifiés.

### 3.13

#### **vitesse maximale d'utilisation**

vitesse du moteur qui correspond à la vitesse maximale de conception du véhicule pour un diamètre de roues motrices à l'état «usé», ou pour un diamètre minimal de roulement dans le cas de pneumatiques

### 3.14

#### **plan d'essai**

liste de tous les essais devant être réalisés par le constructeur et comprenant les essais obligatoires et facultatifs à convenir avec l'exploitant

Note 1 à l'article: Dans le plan d'essai, il est recommandé de décrire les composants utilisés dans le système de traction en essai.

### 3.15

#### **spécification d'essai**

toutes les informations, exigences et paramètres à appliquer pour réaliser et évaluer l'essai, y compris par exemple le domaine d'application de l'essai, l'objectif de l'essai, les conditions d'essai, la méthode d'essai, la procédure d'essai, la méthode d'évaluation, les mesurages, les critères d'acceptation avec les tolérances

### 3.16

#### **résultat d'essai**

évaluation finale de l'essai

### 3.17

#### **essai facultatif**

essai qui n'est pas obligatoire et faisant l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur

## 4 Caractéristiques du système de traction

Les spécifications du système de traction doivent, en règle générale, comprendre des courbes caractéristiques. Ces courbes sont définies comme les “caractéristiques spécifiées”. Elles doivent être tracées jusqu’aux limites de fonctionnement prévues pour chaque variable. Elles doivent être généralement tracées pour la tension d’alimentation à courant alternatif ou courant continu du système de traction à sa valeur nominale spécifiée. Elles peuvent aussi être tracées pour la plus haute tension et la plus basse tension de l’alimentation du système de traction si un accord a été conclu entre l’exploitant et le constructeur.

Ces caractéristiques doivent être tracées pour une température de référence du moteur (enroulement ou aimant) et la température de conception des parties du convertisseur, du transformateur et du filtre de ligne, etc., prévues par le fournisseur.

La température de référence du moteur (enroulement ou aimant) doit être conforme aux valeurs données dans la série IEC 60349 ou faire l’objet d’un accord entre l’exploitant et le constructeur.

Les caractéristiques suivantes sont définies:

- a) Les caractéristiques spécifiées: valeurs définies permettant de satisfaire aux exigences contractuelles de l’exploitant. Il s’agit des valeurs de référence pour le mesurage et elles doivent être validées sur le banc d’essai.
- b) Les caractéristiques internes: valeurs de conception internes qui doivent être mesurées et utilisées pour vérifier la conception mais qui n’ont pas d’influence sur l’acceptation de l’essai combiné, telles que la valeur efficace du courant/de la tension du moteur de traction par exemple.

Sous réserve que les résultats de mesure soient conformes aux caractéristiques spécifiées, les résultats d’essai restent valides, même si les caractéristiques internes ne sont pas exactement les mêmes que les caractéristiques spécifiées. Il convient que la différence fasse l’objet d’un accord entre l’exploitant et le constructeur.

L’ensemble des caractéristiques spécifiées aux points de fonctionnement définis sur la courbe vitesse/couple, aux tensions d’alimentation spécifiées (conformément à l’IEC 60850 ou autre spécification si hors du domaine d’application de l’IEC 60850) et à un diamètre des roues donné, comprend:

- le couple en fonction de la vitesse;
- le rendement du système de traction en fonction de la vitesse à la référence de couple maximale le long de la courbe.

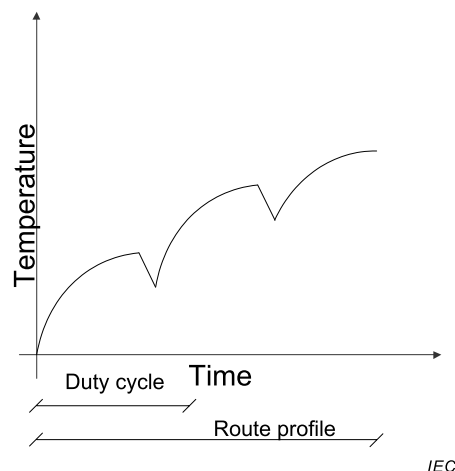
Les caractéristiques spécifiées et les caractéristiques internes peuvent être mesurées au cours d’un essai de balayage de la vitesse ou d’un essai à vitesse constante.

NOTE 1 En cas de balayage de la vitesse, la masse inertielle du rotor du moteur influence de manière significative le mesurage du couple de l’arbre du moteur.

L’ensemble des caractéristiques spécifiées sur le profil d’itinéraire à une tension d’alimentation spécifique, comprend:

- la valeur de référence de couple et la vitesse en fonction du temps à un diamètre des roues donné;
- le courant de ligne et la tension d’alimentation;
- l’évolution du ou des graphe(s) de température applicable (voir Figure 4);
- la consommation d’énergie électrique d’entrée en kWh (valeur intégrée sur tout le profil d’itinéraire).

NOTE 2 Les caractéristiques spécifiées et les caractéristiques internes, à l'exception de celles énumérées ci-dessus, sont décrites dans les articles ci-après pour chaque essai.



| Anglais       | Français            |
|---------------|---------------------|
| Temperature   | Température         |
| Duty cycle    | Cycle de service    |
| Time          | Temps               |
| Route profile | Profil d'itinéraire |

**Figure 4 – Exemple d'évolution du ou des graphe(s) de température sur profil d'itinéraire**

## 5 Exigences générales d'essai

L'essai combiné donne l'occasion de faire fonctionner les composants du système de traction en essai dans des conditions de fonctionnement proches de celles en service.

Tous les composants doivent préalablement être soumis aux essais de type conformément à leurs normes applicables (à l'exception de certains essais spécifiques dont il est spécifié qu'ils doivent être réalisés dans le cadre de l'essai combiné). Il n'est pas nécessaire de répéter un essai sur banc d'essai combiné ayant déjà été réalisé dans le cadre d'un essai de type de composant.

NOTE Les essais de type des composants ou parties de composants peuvent être réalisés sur le même banc d'essai de l'essai combiné, mais ils ne relèvent pas du domaine d'application de la présente Norme. Les résultats des essais de type des composants sont fournis en tant que référence pour l'essai combiné.

Dans la présente Norme, les essais sont classés en essais obligatoires et en essais facultatifs. Les essais obligatoires doivent être réalisés (le cas échéant). Chaque essai facultatif fait l'objet d'un accord. Le Tableau A.1 présente les essais obligatoires ou facultatifs, il convient de l'utiliser pour identifier les essais facultatifs convenus entre l'exploitant et le constructeur. Les éléments d'essai spécifiques pour les moteurs à courant continu sont définis à l'Annexe C.

Les essais spécifiés dans la présente Norme doivent être réalisés sur un système de traction de chaque conception nouvelle à moins que le constructeur puisse démontrer la conformité (à un, plusieurs ou tous les essais) à la présente Norme par des essais réalisés sur le système de traction existant. Ceci doit faire l'objet d'un accord contractuel entre l'exploitant et le constructeur.

Si des modifications de la conception des composants sont décidées après la réalisation de l'essai combiné, l'influence de ces modifications sur les performances du système de traction doit être évaluée. Un accord peut alors être conclu entre l'exploitant et le constructeur pour

ne pas refaire l'essai combiné ou ne refaire que certains des essais. Les modifications du logiciel peuvent être validées par des essais logiciels appropriés (par exemple utiliser un simulateur temps réel).

Les versions utilisées de tous les composants (y compris le logiciel) doivent être traçables pour chaque essai, le cas échéant.

Un accord entre l'exploitant et le constructeur peut être conclu pour réaliser les essais sur un banc d'essai ou sur le véhicule. Les essais peuvent être réalisés en partie sur un banc d'essai et en partie sur le véhicule. Les essais de type réalisés sur le véhicule sont spécifiés dans l'IEC 61133. Certains de ces essais peuvent être réalisés dans l'essai combiné. Leur acceptation fait l'objet d'un accord.

Il convient de soumettre à l'exploitant et de convenir avec lui du plan d'essai et de la spécification d'essai concernant l'essai combiné du système de traction. À l'issue de l'essai, il convient de soumettre un résultat d'essai. Il n'est pas nécessaire d'inclure les données brutes et les procédures d'évaluation dans le résultat d'essai.

## **6 Conditions générales d'essai**

### **6.1 Montage d'essai**

#### **6.1.1 Montage du système de traction en essai**

Les composants à équiper de capteurs de température sont proposés par le constructeur en accord avec l'exploitant.

Le cas échéant, pour des raisons de validation, les composants du système de traction doivent être équipés par le fournisseur de capteurs de température. Les fournisseurs de composants sont chargés de définir le meilleur emplacement selon la température la plus élevée prévue. Si les capteurs ne peuvent pas être placés au point le plus chaud, le fournisseur de composant doit prévoir une correction de température.

Les conditions de câblage exact du train ne sont pas obligatoires dans le montage du système de traction en essai.

#### **6.1.2 Architecture du banc d'essai**

##### **6.1.2.1 Généralités**

Il convient que l'architecture du banc d'essai comprenne les éléments suivants:

- a) l'alimentation électrique du banc d'essai;
- b) le système de charge de traction;
- c) l'alimentation électrique auxiliaire et la charge auxiliaire du train.

##### **6.1.2.2 Alimentation électrique du banc d'essai**

Il convient que l'alimentation électrique du banc d'essai fournisse une plage de tensions permettant un fonctionnement dans les conditions spécifiées dans l'IEC 60850 (ou autre spécification si hors du domaine d'application de l'IEC 60850). La plage de tensions ou la limitation de puissance de l'alimentation électrique doit faire l'objet d'un accord avec l'exploitant. Les caractéristiques du système de traction dans la plage de tensions dépassant ces limites de tension peuvent être soumises à essai avec réduction des valeurs limites/paramètres.

Il convient que les inductances, les capacités, les résistances, la fréquence et les formes d'onde de tension (ondulation, crêtes, harmoniques et perturbations) du système

d'alimentation électrique n'aient aucune influence significative sur le fonctionnement du système de traction ni sur les résultats d'essai.

### 6.1.2.3 Système de charge de traction

#### 6.1.2.3.1 Généralités

Les deux méthodes suivantes sont principalement à appliquer pour charger le système de traction:

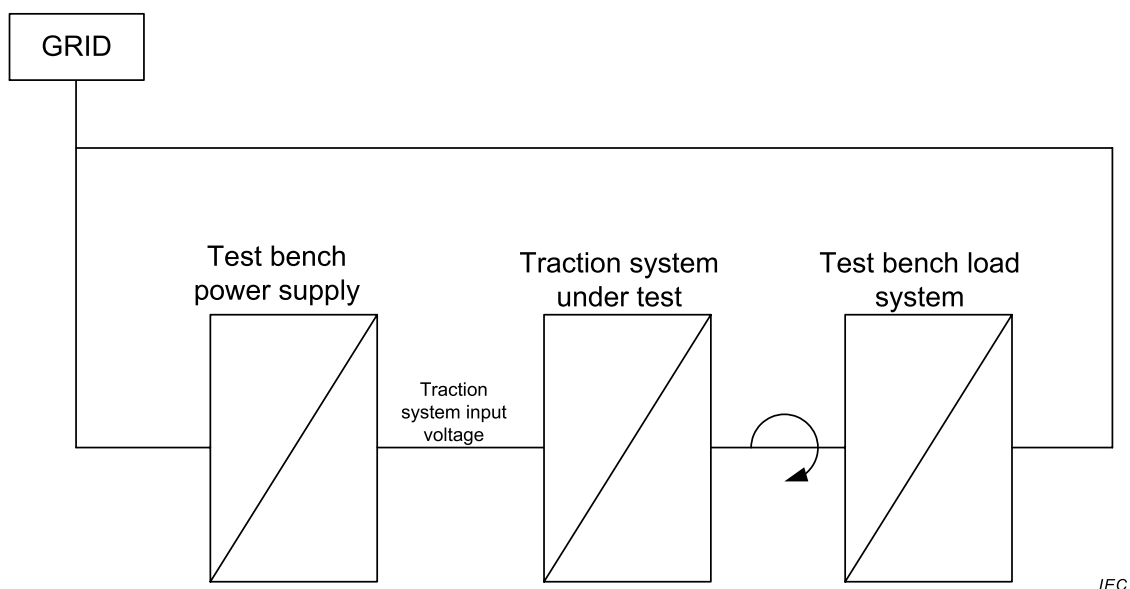
- a) système de charge à vitesse réglable;
- b) charge inertielle.

#### 6.1.2.3.2 Système de charge à vitesse réglable

Les options suivantes sont données:

- a) Option 1:

L'énergie mécanique générée par le système de traction en essai est convertie en énergie électrique par le système de charge et renvoyée au réseau ou à l'alimentation électrique du banc d'essai (voir Figure 5).



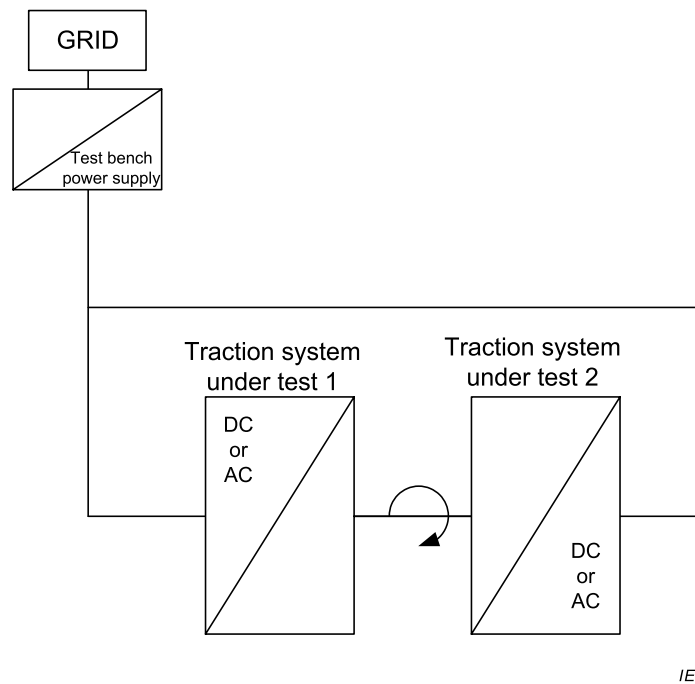
| Anglais                       | Français                                |
|-------------------------------|-----------------------------------------|
| Grid                          | Réseau                                  |
| Test bench power supply       | Alimentation électrique du banc d'essai |
| Traction system under test    | Système de traction en essai            |
| Test bench load system        | Système de charge du banc d'essai       |
| Traction system input voltage | Tension d'entrée du système de traction |

**Figure 5 – Exemple d'architecture de banc d'essai avec système de charge à vitesse réglable**

- b) Option 2:

Deux systèmes de traction identiques en essai sont installés dos à dos comme le représente la Figure 6.

L'énergie mécanique générée par le système de traction en essai est convertie en énergie électrique par le second système de traction.



| Anglais                    | Français                                |
|----------------------------|-----------------------------------------|
| Grid                       | Réseau                                  |
| Test bench power supply    | Alimentation électrique du banc d'essai |
| Traction system under test | Système de traction en essai            |
| DC or AC                   | Courant continu ou courant alternatif   |

**Figure 6 – Exemple d'architecture de banc d'essai avec méthode dos à dos**

#### 6.1.2.3.3 Charge inertielle

Les volants sont utilisés pour simuler la charge inertielle équivalente au véhicule. Du fait des limites imposées par l'installation du banc d'essai (il peut être impossible de fonctionner à vitesse constante avec l'effort de traction), les conditions de charge (par exemple couple en fonction du temps) ne sont pas nécessairement les mêmes que les conditions réelles en fonctionnement. Des calculs peuvent être utilisés pour démontrer la validité de la méthode de charge inertielle et la représentativité des conditions de charge pour simuler les conditions réelles de fonctionnement.

#### 6.1.2.4 Alimentation électrique auxiliaire et charges auxiliaires du train

##### 6.1.2.4.1 Généralités

Le domaine d'application de cet article comprend toutes les charges à l'extérieur du système de traction mais fournies par le système de traction, par exemple, les charges auxiliaires du train ou le convertisseur auxiliaire proprement dit lorsqu'il est alimenté par le système de traction (depuis la liaison à courant continu de traction ou l'enroulement auxiliaire du transformateur).

Les charges auxiliaires de traction sont des charges essentielles au fonctionnement du système de traction, par exemple, les ventilateurs de moteur, la pompe à eau.

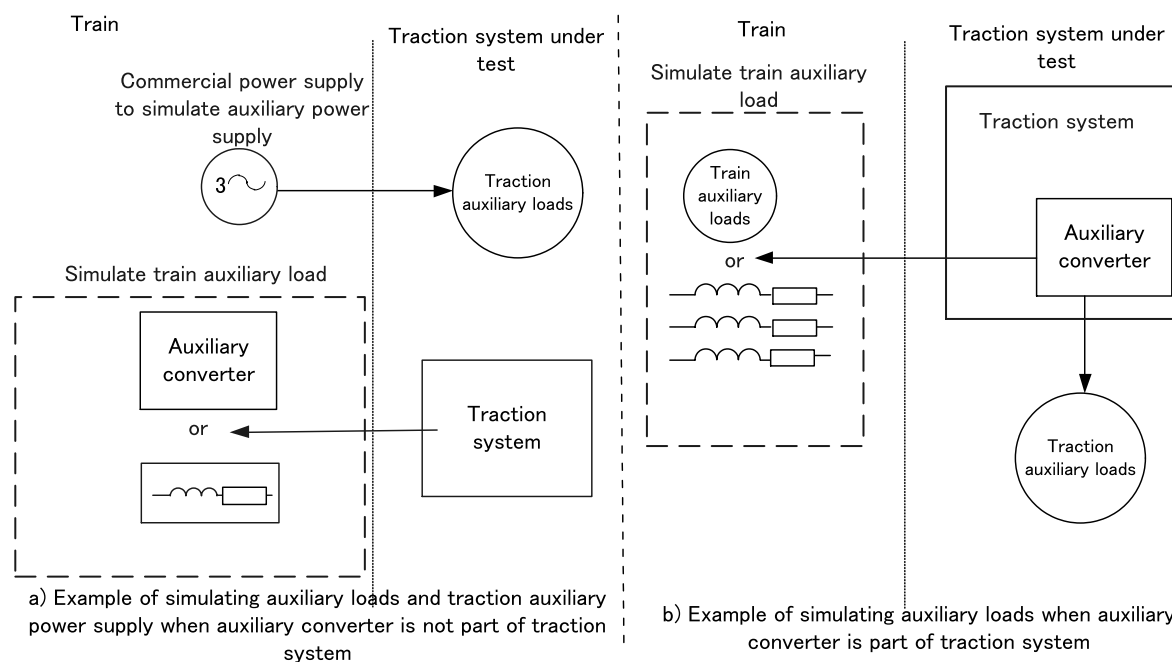
Les charges auxiliaires du train sont celles sur le véhicule alimenté par le convertisseur auxiliaire ou le système de traction mais qui ne sont pas essentielles au système de traction, les charges auxiliaires peuvent être simulées par une charge passive ou active équivalente.

Le fournisseur du système de traction décide si les charges auxiliaires sont simulées ou non en fonction de l'effet sur la validation.

#### 6.1.2.4.2 Alimentation des charges auxiliaires

Une alimentation électrique du commerce peut être utilisée pour la charge auxiliaire de traction.

La Figure 7 donne des exemples de simulation des charges auxiliaires et d'alimentations électriques de charges auxiliaires de traction.



IEC

| Anglais                                                                                                                           | Français                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Train                                                                                                                             | Train                                                                                                                                                               |
| Traction system under test                                                                                                        | Système de traction en essai                                                                                                                                        |
| Simulate train auxiliary load                                                                                                     | Simulation de charge auxiliaire de train                                                                                                                            |
| Commercial power supply to simulate auxiliary power supply                                                                        | Alimentation électrique du commerce pour simuler l'alimentation auxiliaire                                                                                          |
| Traction system                                                                                                                   | Système de traction                                                                                                                                                 |
| Traction auxiliary loads                                                                                                          | Charges auxiliaires de traction                                                                                                                                     |
| Train auxiliary loads                                                                                                             | Charges auxiliaires de train                                                                                                                                        |
| Or                                                                                                                                | Ou                                                                                                                                                                  |
| Auxiliary converter                                                                                                               | Convertisseur auxiliaire                                                                                                                                            |
| Example of simulating auxiliary loads and traction auxiliary power supply when auxiliary converter is not part of traction system | Exemple de simulation de charges auxiliaires et d'alimentation auxiliaire de traction lorsque le convertisseur auxiliaire ne fait pas partie du système de traction |
| Example of simulating auxiliary loads when auxiliary converter is part of traction system                                         | Exemple de simulation de charges auxiliaires lorsque le convertisseur auxiliaire fait partie du système de traction                                                 |

**Figure 7 – Exemples de simulation des charges auxiliaires et de l'alimentation électrique des charges de traction**

Dans l'exemple a) de la Figure 7, le convertisseur auxiliaire ne fait pas partie du système de traction en essai. Dans ce cas, une charge passive ou active équivalente peut être utilisée

pour simuler le convertisseur auxiliaire et une alimentation électrique du commerce peut être utilisée pour l'alimentation des charges auxiliaires de traction.

Dans l'exemple b) de la Figure 7, le convertisseur auxiliaire fait partie du système de traction en essai. Dans ce cas, une charge passive ou active équivalente peut être utilisée pour simuler les charges auxiliaires du train.

## **6.2 Refroidissement pendant l'essai**

Le système de traction doit être soumis à essai avec son refroidissement disposé (compte tenu de la chute de pression dynamique):

- comme il le serait en service, incluant les conduites et les filtres considérés comme une partie du véhicule;

ou

- avec des dispositions donnant des conditions équivalentes.

Le refroidissement correspondant au déplacement du véhicule peut être simulé pour les parties du matériel à refroidissement naturel. Les simulations de ce type de refroidissement font l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

Les mesurages des caractéristiques internes (débit de l'agent de refroidissement, pression, températures, etc.) sont réalisés pour démontrer que les conditions de refroidissement sont équivalentes aux conditions spécifiées.

Si l'essai n'est pas réalisé à la température ambiante maximale spécifiée, les résultats de mesure de la température doivent être corrigés de manière linéaire (température ambiante entre 10 °C et 40 °C, ou lorsque la différence de température entre la température ambiante maximale spécifiée et la température ambiante mesurée est  $\pm 30$  K) afin de pouvoir extrapoler les résultats à la température maximale de fonctionnement. En dehors de cette plage, il convient de réaliser l'extrapolation selon l'accord entre l'exploitant et le constructeur.

## **6.3 Mesurage de la puissance mécanique de sortie**

### **6.3.1 Généralités**

Le couple du système de traction en essai est évalué par la sommation de tous les couples des moteurs.

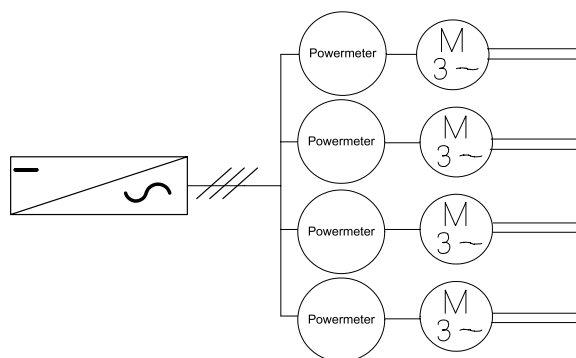
La puissance mécanique de sortie doit être mesurée directement sur le(s) arbre(s) du(des) moteur(s). Si l'engrenage fait partie du montage d'essai, le couple peut être mesuré sur l'arbre de sortie de l'engrenage.

En variante, si un accord a été conclu entre l'exploitant et le constructeur, la puissance mécanique de sortie (d'un ou de tous les moteurs du système de traction) peut être obtenue avec des méthodes alternatives. Les méthodes alternatives sont par exemple:

- a) la méthode par sommation des pertes;
- b) la comparaison de puissance;
- c) la comparaison de courant;
- d) la méthode dos à dos.

### **6.3.2 Méthode par sommation des pertes**

Le couple des moteurs peut être calculé conformément aux méthodes décrites dans l'IEC TS 60349-3 et le calcul est réalisé par sommation des pertes (voir Figure 8).



IEC

| Anglais    | Français  |
|------------|-----------|
| Powermeter | Wattmètre |

**Figure 8 – Exemple de mesure utilisant la méthode par sommation des pertes**

$$P_{\text{pertes}} = 3 \times R \times I^2$$

où

$P_{\text{pertes}}$  sont les pertes de résistance du stator;

$R$  est la résistance du stator issue de l'essai de type du moteur ajustée à la température mesurée;

$I$  est le courant de phase fondamental.

Le couple d'entrefer est calculé:

$$T_{\text{entrefer}} = (P_{\text{el}} - P_{\text{pertes}} - P_{\text{fer}}) / ((2 \times \pi \times N_s) / 60)$$

où

$T_{\text{entrefer}}$  est le couple d'entrefer;

$P_{\text{el}}$  est la puissance d'entrée électrique fondamentale du moteur;

$P_{\text{pertes}}$  sont les pertes de résistance du stator;

$P_{\text{fer}}$  sont les pertes dans le fer;

$N_s$  est la vitesse synchrone du moteur.

Le couple du moteur est calculé:

$$T = T_{\text{entrefer}} - (P_f + P_{\text{parasite}}) / ((2 \times \pi \times N) / 60)$$

où

$T$  est la valeur de couple du moteur;

$T_{\text{entrefer}}$  est le couple d'entrefer;

$P_f$  sont les pertes par frottement selon l'essai de type du moteur;

$P_{\text{parasites}}$  sont les pertes parasites définies dans l'IEC TS 60349-3, si non issues des essais de type du moteur;

$N$  est la vitesse mécanique de chaque moteur.

Le résultat pour le couple est:

$$T = \left( \frac{60}{2 \times \pi \times N} \right) \times \left( (P_{\text{el}} - 3 \times R \times I^2 - P_{\text{fer}}) \times \left( \frac{N}{N_s} \right) - P_f - P_{\text{parasites}} \right)$$

Cette méthode n'est applicable qu'aux moteurs asynchrones.

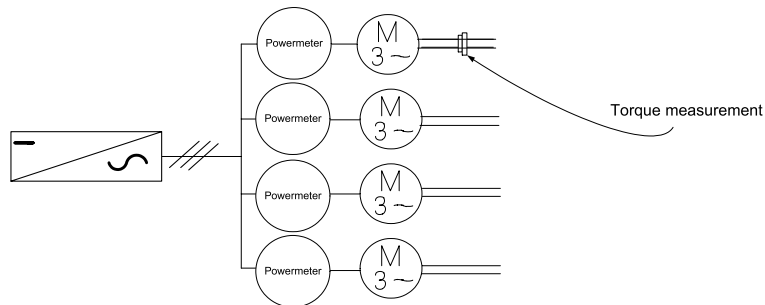
### 6.3.3 Méthode par comparaison de puissance

Lorsqu'un seul couple du moteur est mesuré ( $T_1$ ), chaque couple individuel peut être calculé avec l'équation suivante (voir Figure 9):

$$\frac{T_i}{T_1} = \frac{N_1}{N_i} \times \frac{(P_{el\_i} - 3 \times R_i \times I_i^2 - P_{fer\_i}) \times N_i / N_{s\_i} - P_{f\_i} - P_{parasites\_i}}{(P_{el\_1} - 3 \times R_1 \times I_1^2 - P_{fer\_1}) \times N_1 / N_{s\_1} - P_{f\_1} - P_{parasites\_1}}$$

où

- $T_1$  est le couple mesuré du moteur unique;
- $P_{el\_1}$  est la puissance d'entrée électrique fondamentale du moteur unique;
- $I_1$  est le courant de phase fondamental;
- $N_1$  est la vitesse mécanique du moteur unique;
- $R_1$  est la résistance du stator issue de l'essai de type du moteur ajustée à la température mesurée;
- $P_{fer\_1}$  sont les pertes dans le fer du moteur unique;
- $N_{s\_1}$  est la vitesse synchrone du moteur unique;
- $P_{f\_1}$  sont les pertes par frottement du moteur unique selon l'essai de type du moteur;
- $P_{parasites\_1}$  sont les pertes parasites du moteur unique définies dans l'IEC TS 60349-3, si non issues des essais de type du moteur;
- $T_i, P_{el\_i}, I_i, N_i, R_i, P_{fer\_i}, N_{s\_i}, P_{f\_i}, P_{parasites\_i}$  sont les valeurs des autres moteurs.



IEC

| Anglais            | Français           |
|--------------------|--------------------|
| Powermeter         | Wattmètre          |
| Torque measurement | Mesurage du couple |

**Figure 9 – Exemple de mesure utilisant la méthode par comparaison de puissance**

Cette méthode est applicable seulement pour les moteurs asynchrones.

Sous réserve que les rendements des moteurs en essai soient considérés par hypothèse être identiques et que la différence de puissance soit inférieure ou égale à 20 %, la méthode par comparaison de puissance peut être simplifiée (applicable pour tous les types de moteurs):

$$T_i \approx T_1 \times P_{el\_i} / P_{el\_1} \times N_1 / N_i$$

où

- $T_1$  est le couple mesuré du moteur unique;
- $Pe_{l\_1}$  est la puissance d'entrée électrique fondamentale du moteur unique;
- $N_1$  est la vitesse mécanique du moteur unique;
- $T_i, Pe_{l\_i}, N_i$  sont les valeurs des autres moteurs.

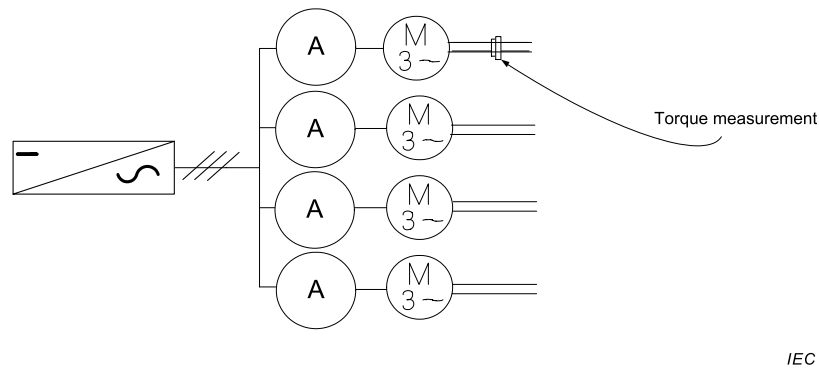
6.3.4 Méthode par comparaison de courant

Dans le cas des moteurs en parallèle tournant à la même vitesse (par exemple tous les moteurs sont couplés mécaniquement) et sous réserve que les rendements et les facteurs de puissance des moteurs en essai soient considérés par hypothèse être identiques et que la différence des courants du moteur est inférieure ou égale à 5 %, la somme des couples (au lieu de mesurer chaque couple individuel) peut être calculée à partir d'un seul couple mesuré (couple de référence) et des courants mesurés du moteur (ou leur somme) (voir Figure 10):

$$T_i \approx T_1 \times I_{el\_i} / I_{el\_1}$$

où

- $T_1$  est le couple mesuré du moteur unique;
- $I_{el\_1}$  est le courant fondamental du moteur unique;
- $T_i, I_{el\_i}$  sont les valeurs des autres moteurs.

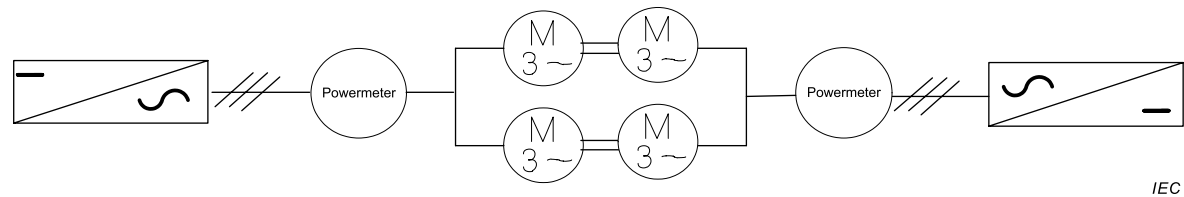


| Anglais            | Français           |
|--------------------|--------------------|
| Torque measurement | Mesurage du couple |

Figure 10 – Exemple de mesure utilisant la méthode par comparaison de courant

6.3.5 Méthode dos à dos

Lorsque les rendements des moteurs en essai et des moteurs de charge sont considérés par hypothèse être identiques, le couple est calculé à partir de la puissance totale mesurée des moteurs (des moteurs en essai et des moteurs de charge) (voir Figure 11).



| Anglais    | Français  |
|------------|-----------|
| Powermeter | Wattmètre |

Figure 11 – Exemple de mesure utilisant la méthode dos à dos

## 6.4 Tolérances et exactitude de mesure

Les critères d'acceptation indiquent les valeurs spécifiées avec les limites de tolérance acceptables et s'appliquent aux résultats de mesure définis ci-après. La limite de tolérance est définie dans chaque spécification d'essai dans les articles suivants.

Les résultats corrigés sont les valeurs de lecture corrigées avec les erreurs systématiques.

NOTE 1 Les erreurs systématiques sont par exemple les décalages ou les erreurs indiqués dans les courbes d'étalonnage des instruments.

Le résultat de mesure est le résultat corrigé ajusté par l'exactitude (considérée dans la présente Norme en fonction de la classe de l'appareil ou de l'écart de mesure de l'instrument issu des protocoles d'étalonnage) de l'appareil de mesure. Le résultat de mesure doit être compris dans les limites de tolérance demandées.

Le constructeur est responsable du choix de l'exactitude applicable de l'appareil de mesure.

NOTE 2 Ceci ne s'applique qu'à la validation des caractéristiques spécifiées. Les caractéristiques internes peuvent être mesurées par les appareils de mesure du système de traction (tels que les transducteurs de tension/de courant, les valeurs calculées par logiciel).

## 6.5 Conditions d'environnement

La température ambiante, la pression et l'humidité de l'air doivent être consignées si elles sont appropriées pour l'essai. Les conditions d'environnement spéciales exigées pour les essais doivent être décrites dans la spécification d'essai.

# 7 Essai des caractéristiques de couple

## 7.1 Généralités

Cet essai a pour objet de démontrer la conformité aux caractéristiques de couple spécifiées du système de traction. L'essai doit être réalisé en faisant tourner le(s) moteur(s) à une vitesse donnée en appliquant la valeur de référence de couple provenant du système de régulation de traction.

Les paramètres décrits dans les conditions d'essai doivent être conformes à ceux utilisés dans les caractéristiques spécifiées, comme défini à l'Article 4.

Les caractéristiques doivent être tracées au minimum pour la référence de couple maximale sur la plage entière de vitesse de l'application, en traction et en freinage si le freinage électrique est appliqué. Elles peuvent aussi être tracées pour  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  et  $\frac{3}{4}$  de la référence de couple maximale à n'importe quelle vitesse, si un accord a été conclu entre l'exploitant et le constructeur.

Lorsque les ensembles de valeurs de référence sont différents (courbes caractéristiques), par exemple dans des conditions de fonctionnement différentes, chaque ensemble de valeurs de référence doit être mesuré.

Les essais des caractéristiques de couple comprennent le mesurage des caractéristiques spécifiées (voir Article 4):

- le couple en fonction de la vitesse;

et des caractéristiques internes (éléments recommandés):

- la valeur efficace du courant fondamental de phase du moteur (ou courant de couple);
- la valeur efficace du courant total de phase du moteur;

- la valeur efficace de la tension fondamentale entre phases du moteur (ou indice de modulation);
- la valeur efficace de la tension totale entre phases du moteur ou résidu harmonique;
- la tension de la liaison à courant continu;
- la tension d'alimentation.

La température est un paramètre important qui influence le couple de sortie, notamment pour le système de traction à moteurs asynchrones et PMM. Les essais des caractéristiques de couple comprennent les essais avec moteur chaud et moteur froid.

## **7.2 Essai des caractéristiques de couple, moteur chaud**

### **7.2.1 Objectif de l'essai**

L'essai a pour objet de démontrer la conformité aux caractéristiques de couple spécifiées avec moteur chaud.

### **7.2.2 Conditions d'essai**

Les moteurs sont considérés comme «chauds» lorsque les températures de l'enroulement statorique correspondent à la température de référence conformément à la série IEC 60349 ou selon l'accord entre l'exploitant et le constructeur, avec une tolérance de  $\pm 20$  K.

Pour obtenir la condition «moteur chaud», les possibilités suivantes peuvent être appliquées:

- a) faire fonctionner le système pour charger le moteur (à charge constante ou autres charges) jusqu'à ce que la température mesurée au niveau de l'enroulement statorique, choisie pour être représentative de la température moyenne, atteigne la condition «moteur chaud»;
- b) faire fonctionner le système selon la condition d'essai de l'Article 9 ou condition équivalente, en s'assurant que la condition «moteur chaud» est obtenue pendant l'essai.

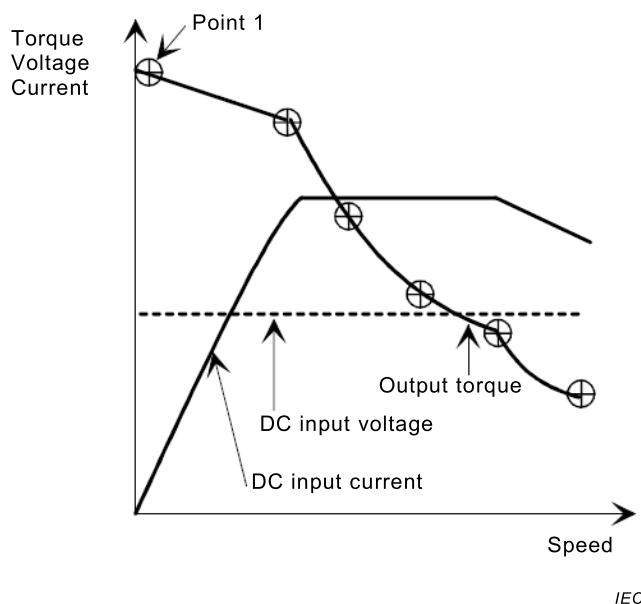
### **7.2.3 Procédure d'essai**

Cet essai peut être réalisé en mesurant le couple dans les conditions suivantes:

#### **a) vitesse constante**

Il est recommandé d'effectuer les mesures tour à tour à basse vitesse et à vitesse élevée afin de maintenir la température du moteur aussi constante que possible. Les mesurages doivent être réalisés rapidement afin de maintenir la température des enroulements du moteur dans les limites de la plage définie en 7.2.2.

Le nombre de points tracés doit être suffisant pour obtenir une vue précise des caractéristiques. La Figure 12 donne des exemples du nombre de points nécessaire.



| Anglais          | Français                            |
|------------------|-------------------------------------|
| Torque           | Couple                              |
| Voltage          | Tension                             |
| Current          | Courant                             |
| Output torque    | Couple de sortie                    |
| DC input voltage | Tension d'entrée en courant continu |
| DC input current | Courant d'entrée en courant continu |
| Speed            | Vitesse                             |

**Figure 12 – Caractéristiques de couple d'un système de traction**

#### b) balayage de la vitesse

Le mesurage du couple est réalisé avec la caractéristique de couple de la Figure 12, en procédant au balayage, en traction, de la vitesse nulle à la vitesse maximale et en freinage de la vitesse maximale à la vitesse minimale.

NOTE En cas de balayage de la vitesse, la masse inertielle du rotor du moteur influence de manière significative le mesurage du couple de l'arbre du moteur.

#### 7.2.4 Critères d'acceptation

La différence entre le résultat de mesure de la somme des couples (définie en 6.3 et en 6.4) et la valeur spécifiée doit être comprise dans la tolérance de  $\pm 5\%$  de la valeur spécifiée entre les valeurs correspondant à la vitesse la plus basse (Point 1 à la Figure 12) et à 90 % de la vitesse maximale d'utilisation.

### 7.3 Essai des caractéristiques de couple, moteur froid

#### 7.3.1 Objectif de l'essai

Cet essai a pour objet de démontrer la conformité aux caractéristiques de couple spécifiées du système de traction, moteur froid.

#### 7.3.2 Conditions d'essai

Le moteur est considéré comme «froid» lorsque la différence de températures entre le moteur (stator, enroulement statorique ou châssis) et la température ambiante est comprise dans les limites de 20 K.

La condition «moteur froid» peut être obtenue en maintenant le moteur à l'état hors tension à sa température ambiante ou par air forcé.

### **7.3.3 Procédure d'essai**

Le mesurage doit être réalisé juste après le démarrage du système. Les mesurages doivent être réalisés en un seul point à la vitesse la plus basse (point 1 à la Figure 12, pour laquelle il a déjà été mesuré, système chaud, en 7.2.3).

### **7.3.4 Critères d'acceptation**

La différence entre le résultat de mesure de la somme des couples (définie en 6.3 et en 6.4) et la valeur spécifiée doit être comprise dans la tolérance de  $\pm 5 \%$  de la valeur spécifiée.

## **7.4 Couple de démarrage à vitesse nulle**

### **7.4.1 Objectif de l'essai**

Cet essai a pour objet de vérifier l'aptitude du système de traction à appliquer le couple à pleine charge à vitesse nulle, par exemple avec rotor bloqué ou méthode équivalente.

Cet essai est exigé uniquement pour les systèmes de traction de locomotives.

Cet essai peut être remplacé par l'essai des caractéristiques de couple, moteur froid, si la vitesse la plus basse définie en 7.3.3 est nulle.

### **7.4.2 Conditions d'essai**

L'essai doit être réalisé sur un moteur au moins, dans les conditions «moteur chaud» et «moteur froid» définies en 7.2.2 et 7.3.2.

### **7.4.3 Procédure d'essai**

Le rotor étant bloqué, le moteur de traction est entraîné au couple de référence maximal, puis le couple est mesuré.

### **7.4.4 Critères d'acceptation**

La différence entre le résultat de mesure et la valeur spécifiée doit être comprise dans la tolérance de  $\pm 5 \%$  de la valeur spécifiée.

## **8 Rendement et essai de consommation d'énergie**

### **8.1 Généralités**

Cet essai a pour objet de démontrer la conformité aux caractéristiques spécifiées de rendement ou de consommation d'énergie du système de traction.

Le rendement du système de traction est le rapport entre la puissance mécanique de sortie et la somme des sources de puissance d'entrée nécessaires pour convertir la puissance électrique en puissance mécanique de sortie.

La consommation d'énergie du système de traction est l'énergie totale absorbée issue de la somme des sources de puissance d'entrée nécessaires pour faire fonctionner les moteurs de traction sur un profil d'itinéraire spécifique.

NOTE Les sources de puissance d'entrée sont la puissance d'entrée de ligne, la puissance d'entrée de générateur, la puissance d'entrée d'auxiliaire (par exemple électronique de régulation, excitation des moteurs à courant continu) nécessaires pour faire fonctionner le système de traction.

La réalisation du mesurage du rendement ou de la consommation d'énergie doit faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

Tous les composants du système de traction définis en 3.2 doivent être intégrés dans la mesure où ils sont directement liés au système de traction. Si le convertisseur auxiliaire fait partie du système de traction, il doit être chargé avec la charge correspondant au système de traction uniquement. La puissance des autres auxiliaires et les pertes dans les composants de traction fournissant cette puissance ne doivent pas être considérées comme relatives au système de traction.

Si le domaine d'application du système de traction en essai est différent de celui du système de traction, par exemple transformateur et système auxiliaire utilisés seulement partiellement, les caractéristiques spécifiées doivent être définies selon le domaine d'application du système de traction en essai.

Si le refroidissement est régulé par la température, ceci doit être pris en compte et les dispositifs de refroidissement doivent fonctionner comme spécifié. La température ambiante doit être consignée. Si cela n'est pas possible (par exemple le système de régulation du refroidissement n'est pas disponible), les systèmes de refroidissement peuvent fonctionner à leur pleine puissance et la puissance de refroidissement appelée réduite peut être déterminée par calcul.

Le rendement et les pertes du système de traction aux points de fonctionnement spécifiés en régime établi (à pleine charge ou à charge partielle) peuvent être mesurés directement par mesurage direct de la puissance d'entrée et de la puissance de sortie, ou par mesurage direct des pertes, ou encore être mesurés avec le montage d'essai dos à dos ou en appliquant la sommation des pertes, ou des combinaisons de ces méthodes.

## **8.2 Caractéristiques de rendement**

### **8.2.1 Objectif de l'essai**

Cet essai a pour objet de mesurer et de valider le rendement du système de traction dans des conditions de fonctionnement spécifiées.

### **8.2.2 Conditions d'essai**

Le rendement peut être mesuré au cours des essais de 7.2.

### **8.2.3 Procédure d'essai**

Les essais relatifs aux caractéristiques de rendement comprennent le mesurage:

#### **a) Des caractéristiques spécifiées et des conditions de fonctionnement associées:**

- le rendement en fonction de la vitesse et du couple;
- la tension d'alimentation;
- la température significative pour le rendement.

Dans la mesure où le rendement n'est pas mesuré directement, l'ensemble suivant de mesurages doit être réalisé en même temps afin de pouvoir calculer le rendement:

- la vitesse, le couple, la puissance active de toutes les sources de puissance d'entrée.

#### **b) Des caractéristiques internes (éléments recommandés):**

- le courant de ligne.

### **8.2.4 Critères d'acceptation**

Les valeurs mesurées doivent être atteintes:

$$1 - \eta_M < (1 - \eta_S) \times 1,15$$

où

$\eta_M$  est le rendement mesuré;

$\eta_S$  est le rendement spécifié.

NOTE 15 % est la tolérance des pertes sur composant conformément à la série IEC 60349.

### **8.3 Consommation d'énergie sur profil d'itinéraire**

#### **8.3.1 Objectif de l'essai**

Cet essai a pour objet de mesurer et de valider la consommation d'énergie du système de traction sur le profil d'itinéraire spécifié dans la spécification d'essai.

La condition de charge peut être différente d'une condition réelle en raison des limites imposées par les installations d'essai. Cet essai a pour objet de vérifier les valeurs de conception dans les conditions d'essai avec les résultats de mesure.

#### **8.3.2 Conditions d'essai**

La condition d'essai est conforme au profil d'itinéraire spécifié dans la spécification d'essai, dont la caractéristique est définie à l'Article 4.

Les caractéristiques du profil d'itinéraire doivent être recalculées avant les essais, selon le résultat des caractéristiques de couple, décrits à l'Article 7 au lieu du couple de référence.

#### **8.3.3 Procédure d'essai**

Les essais relatifs à la consommation d'énergie comprennent le mesurage des éléments suivants:

- a) les caractéristiques spécifiées et les conditions de fonctionnement associées:
  - la consommation d'énergie en fonction du temps;
  - la tension d'alimentation en fonction du temps;
  - la température d'intérêt pour l'énergie;
  - la puissance de ligne active (ou le courant de ligne actif) en fonction du temps;
  - la vitesse du moteur en fonction du temps;
- b) les caractéristiques internes (éléments recommandés):
  - la référence de couple en fonction du temps.

Le mesurage de l'énergie doit être affecté d'un signe afin d'établir une distinction claire entre l'énergie absorbée et l'énergie renvoyée à la source de puissance.

Il convient de mesurer la consommation d'énergie par mesurage de la puissance d'entrée et son intégration en fonction du temps, ou directement par un système de mesure d'énergie. Il convient que les deux méthodes de mesure satisfassent aux exigences de la norme applicable à la mesure de l'énergie.

D'autres méthodes peuvent être utilisées par accord conclu entre l'exploitant et le constructeur.

#### **8.3.4 Critères d'acceptation**

La consommation d'énergie mesurée (en kWh) doit être conforme à la consommation d'énergie spécifiée avec une tolérance de  $\pm 10$  %, sauf spécification contraire.

## **9 Essai d'échauffement**

### **9.1 Généralités**

Cet essai a pour objet de vérifier les valeurs de conception de température avec les résultats de mesure dans des conditions d'essai.

Les essais d'échauffement sont réalisés selon l'une des deux méthodes suivantes:

- l'essai à charge constante (9.2);
- l'essai de charge de profil d'itinéraire (9.3).

La méthode adoptée doit faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

La condition de charge peut être différente d'une condition réelle en raison des limites imposées par les installations d'essai. Dans ce cas, le constructeur doit démontrer que le résultat d'essai est équivalent.

L'échauffement des composants du système de traction en essai doit être mesuré. Les composants à surveiller pendant l'essai d'échauffement doivent faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur. Il est admis de réaliser l'essai sans les composants qui n'ont pas une incidence sur le comportement thermique du système de traction.

L'essai avec des différences de diamètre des roues peut être réalisé à charge constante ou sur profil d'itinéraire. La méthode adoptée doit faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

### **9.2 Essai d'échauffement à charge constante**

#### **9.2.1 Objectif de l'essai**

Cet essai a pour objet de démontrer que les échauffements ne dépassent pas les valeurs de conception, aux valeurs assignées du système convenues entre l'exploitant et le constructeur.

#### **9.2.2 Conditions d'essai**

À ses valeurs assignées convenues entre l'exploitant et le constructeur, le système de traction en essai doit être chargé selon 6.1.2 en traction ou en freinage (ou les deux s'il est nécessaire de vérifier tous les composants), et également à freinage par résistance total pour vérifier les résistances de freinage (si cela relève du domaine d'application de l'essai), selon ce qui provoque un échauffement plus élevé.

Le temps pour atteindre la stabilisation de la température peut être raccourci en commençant l'essai à une charge accrue ou avec une ventilation réduite de certains composants du système, pourvu que les conditions assignées soient par la suite maintenues pendant au moins 2 h, ou qu'il ait été démontré par des moyens appropriés que les températures stabilisées ont été atteintes sur chacun des composants appropriés (la variation de température est inférieure à 4 K en moins de 1 h).

#### **9.2.3 Procédure d'essai**

Mesurer l'échauffement de tous les composants et agents de refroidissement appropriés, par exemple:

- le stator du moteur;
- le rotor du moteur (par capteur de température ou valeurs calculées issues du logiciel de régulation de traction), en tant que caractéristique interne;
- l'agent de refroidissement de l'onduleur ou la température du dissipateur thermique;

- l'agent de refroidissement du transformateur en cas d'alimentation en courant alternatif, l'agent de refroidissement de la bobine d'inductance de ligne en cas d'alimentation en courant continu;
- la résistance de freinage (si cela relève du domaine d'application de l'essai);
- la température ambiante.

Le mesurage direct de la température des enroulements n'est pas exigé du fait qu'elle a été mesurée au cours de l'essai de type. Il suffit d'évaluer et de comparer la température de l'agent de refroidissement avec celle obtenue au cours de l'essai de type. En cas d'utilisation partielle de l'enroulement de transformateur au cours de l'essai, le mesurage de l'échauffement du transformateur est facultatif.

#### **9.2.4 Critères d'acceptation**

Les températures mesurées doivent démontrer que les températures de tous les composants appropriés restent dans les limites conformément aux normes et spécifications applicables.

### **9.3 Échauffement sur profil d'itinéraire**

#### **9.3.1 Objectif de l'essai**

Cet essai a pour objet de démontrer que les échauffements ne dépassent pas les valeurs de conception, sur le profil d'itinéraire spécifié dans la spécification d'essai, avec les valeurs assignées du système convenues entre l'exploitant et le constructeur.

#### **9.3.2 Conditions d'essai**

Les conditions d'essai sont identiques à celles données en 8.3.2 sauf spécification contraire.

Il convient de mesurer cet échauffement en tenant compte de l'évolution du ou des graphe(s) de température répétitive définie à l'Article 4 et en 3.9. Le profil d'itinéraire est poursuivi jusqu'à stabilisation de la température (l'augmentation de l'évolution du ou des graphe(s) de température répétitive sur des cycles de service successifs est inférieure à 4 K en moins de 1 h ou dans le cas de cycles plus longs que 1 h, à 4 K au même moment sur deux cycles de service consécutifs). Le temps pour atteindre la stabilisation de la température peut être raccourci en commençant l'essai à un régime assigné calculé équivalent, et en poursuivant avec des cycles répétitifs.

En variante, l'essai peut être réalisé en reproduisant le fonctionnement journalier du véhicule.

#### **9.3.3 Procédure d'essai**

La même procédure d'essai que celle donnée en 8.3.3 s'applique dans toute la mesure du possible sauf spécification contraire.

Mesurer l'échauffement de tous les composants et agents de refroidissement appropriés, par exemple:

- le stator du moteur;
- l'évolution du ou des graphe(s) de température applicable selon l'Article 4;
- le rotor du moteur (par capteur de température ou valeurs calculées issues du logiciel de régulation de traction), en tant que caractéristique interne;
- l'agent de refroidissement de l'onduleur ou la température du dissipateur thermique;
- l'agent de refroidissement du transformateur en cas d'alimentation en courant alternatif, l'agent de refroidissement de la bobine d'inductance de ligne en cas d'alimentation en courant continu;
- la résistance de freinage (si cela relève du domaine d'application de l'essai);

– la température ambiante.

Le mesurage direct de la température des enroulements n'est pas exigé du fait qu'elle a été mesurée au cours de l'essai de type. Il suffit d'évaluer et de comparer la température de l'agent de refroidissement avec celle obtenue au cours de l'essai de type. En cas d'utilisation partielle des enroulements du transformateur, le mesurage de l'échauffement du transformateur est facultatif.

### 9.3.4 Critères d'acceptation

Les températures mesurées doivent démontrer que les températures de tous les composants appropriés restent dans les limites conformément aux normes et spécifications applicables.

## 9.4 Essai avec différences de diamètre des roues pour moteurs asynchrones en parallèle

### 9.4.1 Généralités

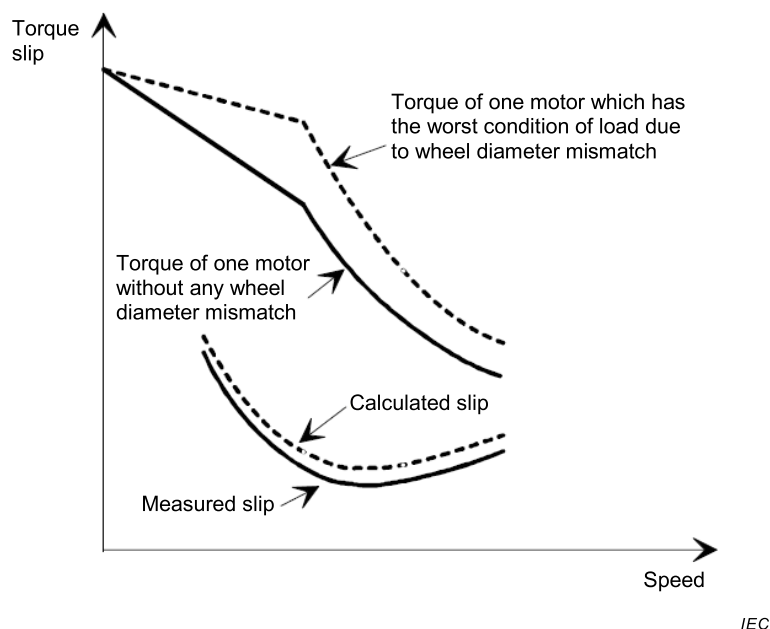
L'essai doit être réalisé à charge constante ou sur un profil d'itinéraire.

### 9.4.2 Objectif de l'essai

L'essai a pour objet de vérifier la température du moteur et les réactions du système (réduction du couple) en cas de variation de vitesse due à la différence de diamètre des roues.

Cet essai est applicable uniquement aux moteurs asynchrones.

La Figure 13 présente un exemple de l'effet de l'écart de diamètre des roues sur la caractéristique de couple et l'évolution du glissement:



NOTE 1 Le glissement calculé vaut:

$$s_c = s \pm (\Delta D/D)[(n-1)/n]$$

(+ en traction, – en freinage)

où

$s_c$  est le glissement calculé;

$s$  est le glissement mesuré au cours des essais de caractéristiques (moteur chaud, voir 7.2);

$n$  est le nombre de moteurs en parallèle;

$\Delta D/D$  est la différence maximale de diamètre des roues.

NOTE 2 La différence de vitesse de rotation des roues peut également être provoquée par un patinage. Dans ce cas, la condition de surcharge du moteur ne peut pas être définie clairement. Cette condition n'est pas prise en compte dans le cas présent.

| Anglais                                                                                  | Français                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Torque                                                                                   | Couple                                                                                                           |
| Slip                                                                                     | Glissement                                                                                                       |
| Torque of one motor which has the worst condition of load due to wheel diameter mismatch | Couple d'un moteur qui a les conditions de charge les plus défavorables du fait de l'écart de diamètre des roues |
| Torque of one motor without any wheel diameter mismatch                                  | Couple d'un moteur sans aucun écart de diamètre des roues                                                        |
| Calculated slip                                                                          | Glissement calculé                                                                                               |
| Measured slip                                                                            | Glissement mesuré                                                                                                |
| Speed                                                                                    | Vitesse                                                                                                          |

**Figure 13 – Effet de l'écart de diamètre des roues sur la caractéristique de couple de moteur asynchrone**

### 9.4.3 Conditions d'essai

Les conditions d'essai sont définies en 9.2.2 et 9.3.2.

### 9.4.4 Procédure d'essai

#### 9.4.4.1 Généralités

Mesurer l'échauffement des composants suivants du moteur avec la charge la plus élevée:

- le stator du moteur;
- le rotor du moteur (par capteur de température ou valeurs calculées issues du logiciel de régulation de traction), en tant que caractéristique interne.

#### 9.4.4.2 Cas 1 – température du moteur accrue

##### 9.4.4.2.1 Généralités

Lorsque plusieurs moteurs asynchrones sont alimentés en parallèle par un onduleur, la différence de diamètre des roues peut amener certains des moteurs à leur condition de charge la plus défavorable. Si le régulateur est conçu de sorte que certains des moteurs sont amenés à leur condition de charge la plus défavorable, un essai d'échauffement additionnel des moteurs doit être réalisé.

Cet essai peut être réalisé selon l'une des trois méthodes suivantes:

- a) (uniquement à charge constante) comme un essai avec la différence de vitesse constante considérée d'un moteur. Les vitesses des moteurs en parallèle sont régulées individuellement à une différence de vitesse qui correspond à la différence maximale admissible de diamètre des roues. L'essai doit être réalisé dans la condition la plus défavorable, en traction et/ou en freinage. En traction, un moteur doit tourner à une vitesse qui est inférieure à celle des autres moteurs, donnant lieu à un couple supérieur. En freinage, un moteur doit tourner à une vitesse qui est supérieure à celle des autres moteurs, donnant lieu à un couple supérieur.
- b) (uniquement pour profil d'itinéraire) comme un essai avec la différence de vitesse constante considérée d'un moteur. Les vitesses des moteurs en parallèle sont régulées individuellement à une différence de vitesse qui correspond à la différence maximale

admissible de diamètre des roues. Un moteur doit tourner à une vitesse qui est inférieure à celle des autres moteurs, donnant lieu à un couple supérieur en traction et à un couple inférieur en freinage.

- c) ou l'essai peut être réalisé avec un ou plusieurs moteurs au glissement constant équivalent en conditions de surcharge selon la différence de diamètre des roues spécifiée. Cet essai doit considérer qu'un seul moteur entraîne une roue qui présente la différence de diamètre des roues maximale. La référence de la régulation doit être modifiée de sorte que le glissement corresponde aux conditions de charge les plus défavorables du fait de la différence maximale admissible de diamètre des roues, sans modifier les autres paramètres (par exemple flux). L'applicabilité de cette méthode doit être démontrée. L'essai peut être réalisé conjointement à l'essai de type du moteur.

Si un accord a été conclu entre l'exploitant et le constructeur, l'essai peut être remplacé par un calcul de l'échauffement, sur la base des mesurages réalisés au cours de l'essai de type des composants et de l'essai combiné.

#### **9.4.4.2.2 Critères d'acceptation**

L'échauffement du moteur dans la condition la plus défavorable doit rester dans les limites spécifiées et le système doit réagir correctement. Il convient de démontrer l'incidence sur le couple.

#### **9.4.4.3 Cas 2 – réduction du couple**

##### **9.4.4.3.1 Généralités**

Le régulateur peut être conçu pour maintenir tous les moteurs dans les limites de la charge qui leur serait appliquée s'il n'y avait aucune différence de diamètre des roues par réduction de l'effort de traction. En conséquence, la différence de diamètre des roues affecte les caractéristiques de couple, ou l'échauffement des moteurs, ou encore les deux.

Dans ce cas, lorsque le régulateur est conçu pour maintenir tous les moteurs dans les limites d'une charge admissible par réduction de l'effort de traction, il convient d'obtenir une caractéristique de couple additionnelle. Ceci peut être réalisé par mesurage, calcul ou simulation (par exemple simulation de différents signaux de vitesse), ou d'autres essais permettant de démontrer la réaction de protection du système peuvent être réalisés. L'essai peut être réalisé avec des valeurs limites réduites.

Si un accord a été conclu entre l'exploitant et le constructeur, l'essai peut être remplacé par un calcul de l'échauffement et du couple, sur la base des mesurages réalisés au cours de l'essai de type des composants et de l'essai combiné.

##### **9.4.4.3.2 Critères d'acceptation**

La réduction du couple ou de la puissance de chaque moteur ou de l'ensemble des moteurs doit être indiquée et la température doit être maintenue dans les limites spécifiées.

## **10 Essai de fonctionnement du système**

### **10.1 Essai de la fonction antirecul**

#### **10.1.1 Objectif de l'essai**

Cet essai a pour objet de démontrer l'aptitude du système de traction à satisfaire à l'essai de la fonction antirecul d'un véhicule lors de son déplacement en marche avant, en simulant la fonction de démarrage à un gradient donné.

Si l'essai de la fonction antirecul ne constitue pas une exigence pour un système de traction, cet essai n'est pas applicable.

### 10.1.2 Conditions d'essai

L'essai doit être réalisé sur un banc d'essai afin de simuler la charge spécifiée du véhicule sur le gradient spécifié.

NOTE La température du moteur n'est pas significative pour cet essai.

### 10.1.3 Procédure d'essai

Le système de traction en essai doit démarrer en marche arrière/essai de la fonction antirecul et passer en marche avant, au couple à pleine charge appliqué.

### 10.1.4 Critères d'acceptation

Le système de traction en essai doit être capable d'accélérer dans la direction exigée sans aucune interruption du fonctionnement.

## 10.2 Transition traction-freinage

### 10.2.1 Objectif de l'essai

Cet essai a pour objet de démontrer l'aptitude du système à réaliser la transition de la traction au freinage et inversement dans différentes conditions.

L'essai n'est pas applicable aux moteurs à courant continu.

### 10.2.2 Conditions d'essai

L'essai doit réaliser les transitions suivantes (le cas échéant):

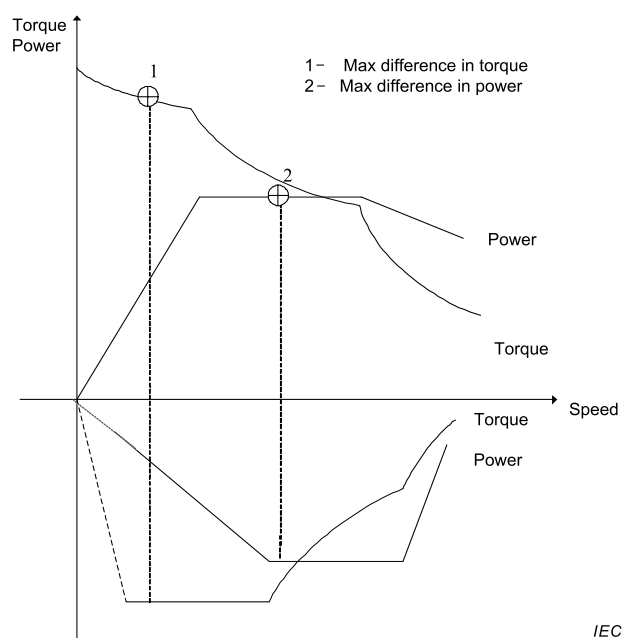
- traction à freinage sur résistance, et inversement;
- traction à freinage par récupération, et inversement.

NOTE 1 La température du moteur n'est pas significative pour cet essai.

NOTE 2 La transition de la traction au freinage d'urgence est incluse, le cas échéant.

La transition est soumise à essai à plein(e) traction/couple de freinage/puissance aux deux vitesses suivantes (voir Figure 14):

- vitesse du point 1: différence maximale de couple entre traction et freinage;
- vitesse du point 2: différence maximale de puissance entre traction et freinage.



| Anglais                  | Français                         |
|--------------------------|----------------------------------|
| Torque<br>Power          | Couple<br>Puissance              |
| Max difference in torque | Différence maximale de couple    |
| Max difference in power  | Différence maximale de puissance |
| Speed                    | Vitesse                          |

**Figure 14 – Conditions d'essai pour transition traction-freinage**

### 10.2.3 Procédure d'essai

La transition, au taux maximal de variation de la référence de couple, est réalisée par la commande de traction/freinage à chaque condition d'essai.

### 10.2.4 Critères d'acceptation

Le taux de variation du couple doit être compris dans les valeurs spécifiées.

Au lieu de mesurer directement le couple, il est possible de mesurer d'autres paramètres, par exemple le courant de ligne, le courant de moteur, la puissance d'entrée.

Le système de traction en essai doit être capable de réaliser les transitions exigées sans aucune action de protection (par exemple contre les surintensités, la surtension, etc.).

## 11 Variation de la tension d'alimentation

### 11.1 Objectif de l'essai

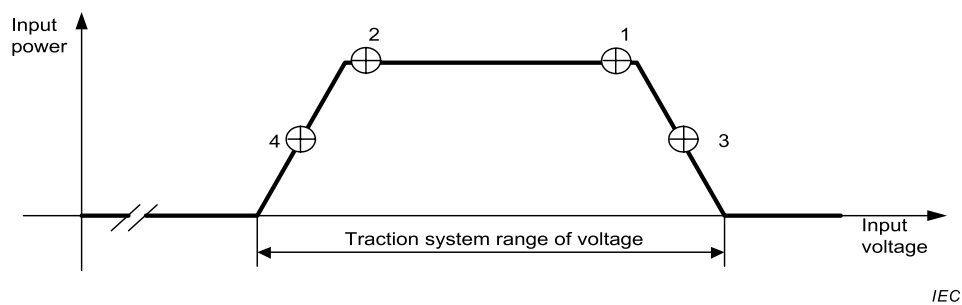
Cet essai a pour objet de vérifier que le système de traction fonctionne correctement dans la plage de tensions spécifiée, conformément à l'IEC 60850 ou à la spécification.

### 11.2 Conditions d'essai

L'essai doit être réalisé sur toute la plage de tensions, comme dans l'exemple de la Figure 15:

- tension maximale à pleine puissance (point 1);

- tension minimale à pleine puissance (point 2);
- et au moins un point dans la zone de sous-tension et de sur-tension où se produit généralement la réduction de puissance (point 3 et point 4), conformément à l'IEC 62313 ou aux spécifications.

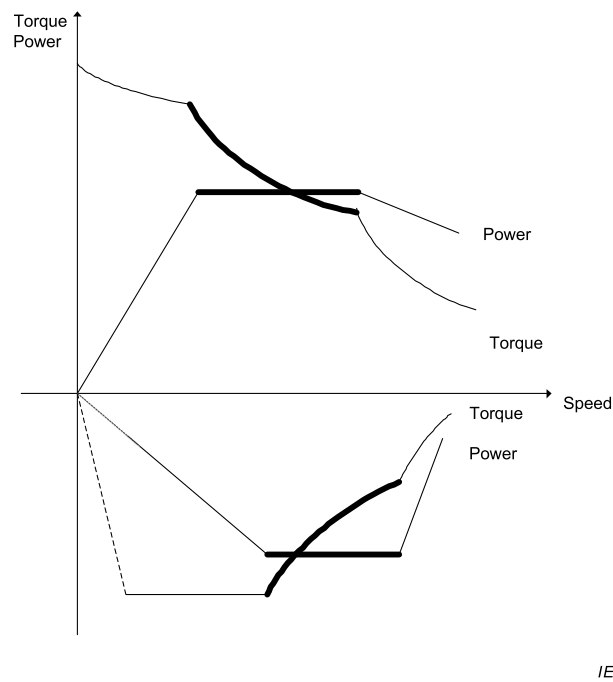


| Anglais                          | Français                                 |
|----------------------------------|------------------------------------------|
| Input power                      | Puissance d'entrée                       |
| Traction system range of voltage | Plage de tensions du système de traction |
| Input voltage                    | Tension d'entrée                         |

**Figure 15 – Conditions d’essai dans la plage de tensions du système de traction**

NOTE L’impact des charges auxiliaires est défini en 6.1.2.4.

L’essai doit être réalisé en freinage et en traction dans un point de vitesse de la zone de puissance maximale constante à la référence de couple maximale (voir zone en gras dans la Figure 16).



| Anglais | Français  |
|---------|-----------|
| Torque  | Couple    |
| Power   | Puissance |
| Speed   | Vitesse   |

**Figure 16 – Conditions d’essai pour la variation de la tension**

### 11.3 Procédure d'essai

À la valeur constante de la tension d'alimentation, la référence de couple à pleine charge est appliquée selon les conditions d'essai.

Les essais comprennent le mesurage d'une ou de plusieurs caractéristiques spécifiées ci-dessous:

- le courant de ligne;
- la puissance de ligne;
- le facteur de puissance fondamentale d'entrée (en cas d'entrée à courant alternatif);
- le couple.

### 11.4 Critères d'acceptation

La puissance d'entrée (ou courant d'entrée, ou couple, ou facteur de puissance fondamentale d'entrée) à chaque point de fonctionnement spécifié dans les conditions d'essai doit être telle que spécifiée.

## 12 Essai des systèmes de protection

### 12.1 Généralités

Cet essai a pour objet de vérifier que les fonctions des systèmes de protection fonctionnent correctement.

Lorsque cela n'a pas d'incidence sur le résultat d'essai, il convient généralement de pouvoir réaliser les essais avec le système de traction en essai sans certains composants ou sans alimentation électrique haute tension.

Au minimum, les essais ne doivent pas affecter le système de traction. Le système de traction doit continuer à assurer les performances prévues sans dommage permanent, même dans les conditions de fonctionnement les plus sévères.

NOTE Les autres essais des systèmes de protection qui ne sont pas inclus dans l'Article 12 font l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

### 12.2 Essai de variation brusque de tension

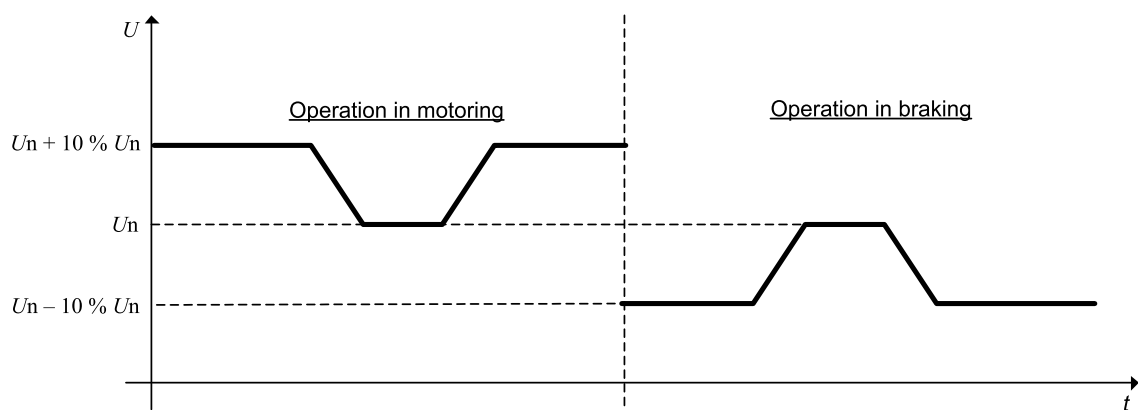
#### 12.2.1 Objectif de l'essai

Cet essai a pour objet de vérifier que le système de traction est capable de supporter une variation brusque de tension (modifications de sous-station, modifications de charge sur la ligne).

#### 12.2.2 Conditions d'essai

La tension d'alimentation doit être augmentée brusquement depuis approximativement la tension nominale d'alimentation.

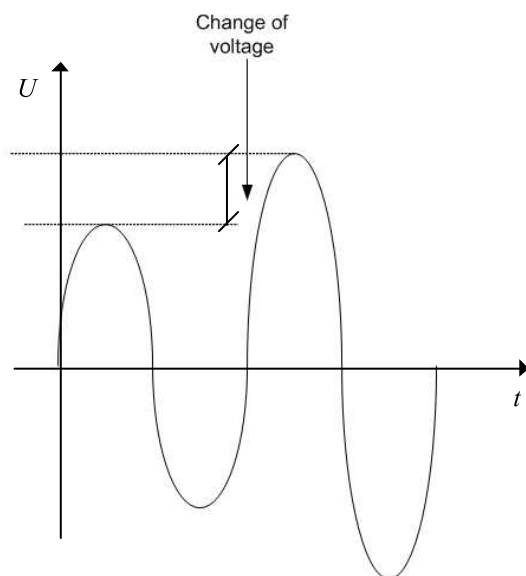
La tension d'alimentation doit passer de  $U_n + 10 \% U_n$  à  $U_n$  et inversement en mode traction, et passer de  $U_n - 10 \% U_n$  à  $U_n$  et inversement en mode freinage à pleine puissance en traction et au courant de freinage récupéré maximal qu'il est possible d'obtenir (si le freinage par récupération est applicable), comme dans la Figure 17 et la Figure 18. Le temps de montée et le temps de descente des variations de tension font l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.



IEC

| Anglais               | Français                   |
|-----------------------|----------------------------|
| Operation in motoring | Fonctionnement en traction |
| Operation in braking  | Fonctionnement en freinage |

**Figure 17 – Variation brusque de tension avec tension d'alimentation en courant continu**



IEC

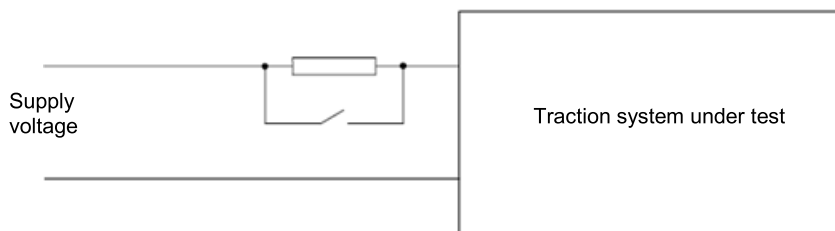
| Anglais           | Français             |
|-------------------|----------------------|
| Change of voltage | Variation de tension |

**Figure 18 – Variation brusque de tension avec tension d'alimentation en courant alternatif**

### 12.2.3 Procédure d'essai

L'essai peut être réalisé selon les méthodes suivantes:

- en utilisant le régulateur de l'alimentation électrique du banc d'essai;
- en utilisant un contacteur en parallèle à une résistance raccordée comme le représente la Figure 19, qui fournit un exemple de configuration de circuit éventuelle;
- en utilisant un changeur de prise.



IEC

| Anglais                    | Français                     |
|----------------------------|------------------------------|
| Supply voltage             | Tension d'alimentation       |
| Traction system under test | Système de traction en essai |

**Figure 19 – Exemple de méthode de génération d'une variation brusque de tension**

### 12.2.4 Critères d'acceptation

Il convient que le système de traction supporte la variation de tension sans interruption du fonctionnement.

### 12.3 Interruption de la tension d'alimentation de traction

#### 12.3.1 Objectif de l'essai

Cet essai a pour objet de vérifier que le système de traction réagit à une interruption de tension, comme spécifié dans l'IEC 60850 ou la spécification, généralement due au déclenchement des disjoncteurs et au réenclenchement automatique après la détection des défauts.

#### 12.3.2 Conditions d'essai

La tension est interrompue pendant moins de 10 s, à la tension nominale, à pleine puissance en traction et au courant de freinage récupéré maximal qu'il est possible d'obtenir (si le freinage par récupération est applicable).

NOTE La durée de l'interruption est conforme aux caractéristiques d'alimentation électrique ou il est possible de se référer à l'IEC 60850 si elle n'est pas spécifiée.

Tous les dispositifs de protection, y compris les dispositifs de protection en l'absence de tension, doivent être en fonctionnement pendant ces essais.

#### 12.3.3 Procédure d'essai

Pour la traction et le freinage par récupération, la tension d'alimentation externe doit être déconnectée et reconnectée (par exemple au moyen du disjoncteur) pendant la durée totale de l'interruption, comme défini dans les conditions d'essai.

#### 12.3.4 Critères d'acceptation

Le système de traction doit réagir comme spécifié sans présenter de dommage.

NOTE L'IEC 62313 spécifie les exigences relatives à la coordination entre le système de traction et l'alimentation électrique.

## 12.4 Perte de contact de la tension d'alimentation de traction

### 12.4.1 Objectif de l'essai

Cet essai a pour objet de vérifier que le système de traction réagit à une perte de contact de tension afin de simuler l'état du train en cas de rebondissement du pantographe ou de passage d'une section neutre, etc.

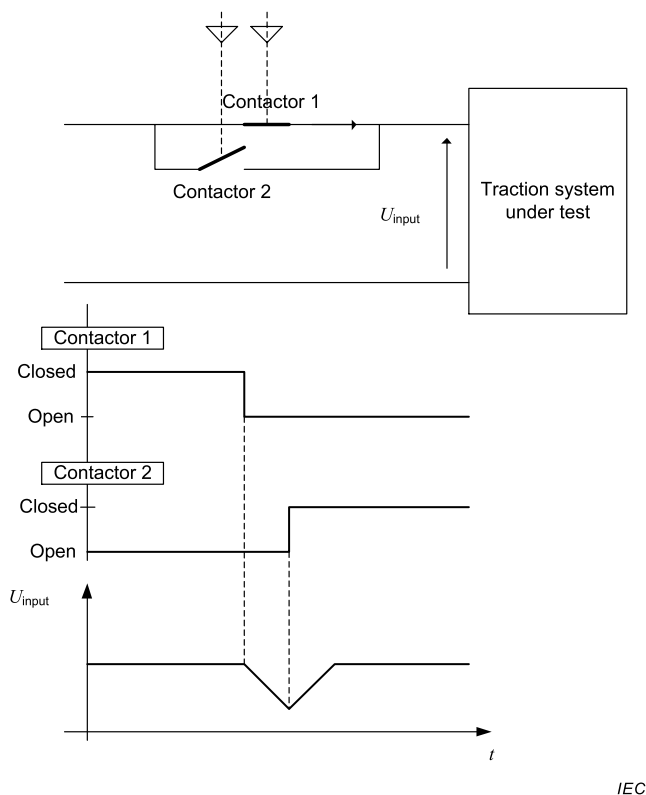
### 12.4.2 Conditions d'essai

Le contact de tension est perdu pendant une durée de 10 ms à 200 ms ou sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur, à la tension nominale, à pleine puissance en traction et au courant de freinage récupéré maximal qu'il est possible d'obtenir (si le freinage par récupération est applicable).

NOTE Il est admis que pendant la perte de contact, la tension d'entrée du système de traction ne passe pas à 0 V.

### 12.4.3 Procédure d'essai

Pour la traction et le freinage par récupération, la tension d'alimentation externe doit être déconnectée et reconnectée, par exemple comme à la Figure 20, pendant la durée totale de la perte de contact, comme défini dans les conditions d'essai.



IEC

| Anglais                    | Français                     |
|----------------------------|------------------------------|
| Contactor                  | Contacteur                   |
| Traction system under test | Système de traction en essai |
| Closed                     | Fermé                        |
| Open                       | Ouvert                       |
| $U_{input}$                | $U_{entrée}$                 |

**Figure 20 – Exemple de méthode de simulation de la perte de contact de la tension d'alimentation de traction**

#### 12.4.4 Critères d'acceptation

Le système de traction doit réagir comme spécifié sans présenter de dommage.

### 12.5 Perte brusque de la capacité de récupération

#### 12.5.1 Objectif de l'essai

Cet essai a pour objet de simuler une perte de capacité de récupération afin de vérifier que la transition a lieu du freinage par récupération au freinage sur résistance.

L'essai ne s'applique que si le système de freinage sur résistance est disponible.

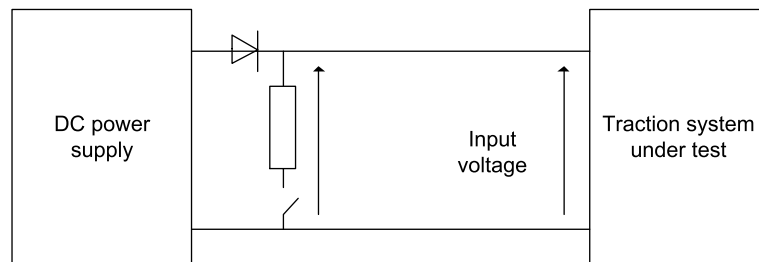
#### 12.5.2 Conditions d'essai

À la tension nominale, la capacité de récupération est interrompue à la puissance de freinage récupérée maximale qu'il est possible d'obtenir.

#### 12.5.3 Procédure d'essai

La capacité de récupération peut être interrompue en appliquant les méthodes suivantes pour des lignes en courant alternatif et en courant continu, par exemple:

- déconnecter l'alimentation électrique;
- bloquer la capacité de récupération de l'alimentation électrique (par exemple en utilisant une alimentation électrique de non-récupération et une charge résistive en parallèle comme le représente la Figure 21 pour le courant continu).



IEC

| Anglais                    | Français                                   |
|----------------------------|--------------------------------------------|
| DC power supply            | Alimentation électrique en courant continu |
| Input voltage              | Tension d'entrée                           |
| Traction system under test | Système de traction en essai               |

**Figure 21 – Exemple de méthode de génération de la perte de la capacité de récupération**

#### 12.5.4 Critères d'acceptation

Il convient que la transition du freinage par récupération au freinage sur résistance soit régulière sans variation significative du couple.

NOTE Il est possible de mesurer le courant du moteur plutôt que de mesurer directement le couple.

La tension d'entrée doit rester au-dessous des valeurs maximales spécifiées.

## **12.6 Arrêt de l'onduleur de traction**

### **12.6.1 Objectif de l'essai**

Cet essai a pour objet de vérifier que par suite d'une réduction brusque de charge due à l'arrêt immédiat de l'onduleur de traction, le système de traction ne présente aucun dommage.

### **12.6.2 Conditions d'essai**

L'essai doit être réalisé aux points de fonctionnement suivants, en freinage et en traction:

- la puissance maximale (pour tous les types de moteurs);
- 90 % de la vitesse maximale d'utilisation du moteur en fonctionnement normal (uniquement dans le cas de moteur PMM).

### **12.6.3 Procédure d'essai**

Lorsque les conditions décrites en 12.6.2 sont obtenues, tous les onduleurs raccordés à une liaison à courant continu commune doivent être arrêtés en activant l'arrêt immédiat des impulsions de commande à semi-conducteur de l'onduleur de traction.

Si les onduleurs sont sur une liaison à courant continu commune mais sont régulés et protégés de manière indépendante, il n'est pas nécessaire de les arrêter en même temps.

### **12.6.4 Critères d'acceptation**

Le système doit être capable de redémarrer et fonctionner comme auparavant conformément à une séquence spécifiée (réenclenchement après défaut).

## **12.7 Fonctions de calcul de la température**

### **12.7.1 Généralités**

Les températures calculées dans le système de traction sont des valeurs internes utilisées pour certaines fonctions de protection.

Pour les composants appropriés, et uniquement lorsque le système de traction est équipé de fonctions de calcul de la température servant de fonctions de protection, les fonctions de calcul de la température assurées par l'équipement de régulation de traction du système de traction doivent être validées pendant l'essai d'échauffement (Article 9).

NOTE Les fonctions de protection contre la surchauffe sont validées pendant la validation logicielle ou au cours de certains essais de dispositifs.

### **12.7.2 Objectif de l'essai**

Cet essai a pour objet de valider les fonctions de calcul de la température comme base pour la fonction de protection.

### **12.7.3 Conditions d'essai**

Voir l'Article 9.

### **12.7.4 Procédure d'essai**

Voir l'Article 9.

### **12.7.5 Critères d'acceptation**

Les fonctions de calcul de la température satisfont à leur objet.

## **12.8 Protection contre les surintensités et la surtension**

L'essai doit être réalisé pendant les essais de type des composants et convertisseurs conformément à l'IEC 61287-1.

## **12.9 Interruption de l'alimentation de la batterie de contrôle-commande**

### **12.9.1 Objectif de l'essai**

Cet essai a pour objet de vérifier que le système de traction en essai ne présente aucun dommage en cas d'interruption de l'alimentation de la batterie de contrôle-commande.

### **12.9.2 Conditions d'essai**

L'essai doit être réalisé aux points de fonctionnement suivants, en freinage et en traction:

- la puissance maximale (pour tous les types de moteurs);
- 90 % de la vitesse maximale d'utilisation du moteur en fonctionnement normal (uniquement dans le cas de moteur PMM).

S'il existe des restrictions limitant le risque d'endommager les installations du banc d'essai, il est admis de réaliser cet essai à basse tension ou en utilisant une charge différente au lieu de moteurs.

### **12.9.3 Procédure d'essai**

Lorsque les conditions décrites ci-dessus sont obtenues, l'alimentation électrique par batterie de contrôle-commande doit être interrompue.

### **12.9.4 Critères d'acceptation**

Le système doit être capable de redémarrer et fonctionner comme auparavant conformément à la séquence spécifiée (réenclenchement après défaut).

## **13 Essai de gestion des défauts**

### **13.1 Généralités**

Cet essai a pour objet de vérifier par essai la gestion des défauts à l'intérieur du système de traction par surveillance de:

- la détection de défaut;
- la fonction de protection;
- l'indication de défaut;
- l'action corrective (le cas échéant).

Les méthodes d'essai doivent initier les fonctions de protection. Le matériel de simulation de condition de défaut est admis.

Lorsque cela n'a pas d'incidence sur le résultat d'essai, il convient généralement de pouvoir réaliser les essais avec le système de traction en essai sans certains composants ou sans alimentation électrique haute tension.

Si des parties (ou la totalité) des fonctions ont été soumises à l'essai au niveau des composants, il est admis de soumettre à l'essai uniquement les fonctions restantes.

Les critères d'acceptation pour l'essai spécifié dans les paragraphes ci-après stipulent que le système de traction en essai ne présente aucun dommage et que sont appliquées la détection

de défaut, la fonction de protection, l'indication de défaut et l'action corrective correctes (le cas échéant).

### **13.2 Perte de la fonction de détection**

Les éléments pertinents pour cet essai sont les défauts des capteurs (par exemple transducteurs de tension, transducteurs de courant, transducteurs de température).

Il est admis de réaliser cet essai en générant des conditions de défaut pour les capteurs à l'état hors tension, avant de démarrer le système.

### **13.3 Pertes des signaux de commande et de retour**

Les éléments pertinents pour cet essai sont la perte des signaux de commande de matériel et des signaux de retour des composants (par exemple disjoncteur principal, contacteurs).

Il est admis de réaliser cet essai en générant des conditions de défaut pour le signal à l'état hors tension, avant de démarrer le système.

### **13.4 Défaut des systèmes de refroidissement**

Les éléments pertinents pour cet essai sont les interruptions ou les réductions des performances en matière de refroidissement. Exemples:

- l'arrêt ou la réduction de la vitesse des composants, par exemple des pompes, des ventilateurs;
- l'interruption ou la réduction du flux de l'agent de refroidissement.

Il est admis de réaliser cet essai en générant des conditions de défaut à l'état hors tension, avant de démarrer le système.

### **13.5 Défauts de terre et de court-circuit**

Dans la spécification, l'exploitant doit préciser si le système de traction est protégé ou non contre les défauts de terre et de court-circuit.

Les éléments pertinents pour cet essai sont les défauts de terre ou les conditions de court-circuit tels que spécifiés. Les défauts se produisant à l'intérieur des composants peuvent être exclus.

Par exemple, il convient de considérer les cas d'essai suivants:

- à la liaison à courant continu (y compris le circuit résonant le cas échéant);
- à la sortie;
- à l'entrée;
- au rhéostat de freinage.

Il est admis de réaliser cet essai en générant une condition de défaut à l'état hors tension, avant de démarrer le système.

S'il existe des restrictions dues au risque d'endommager les installations du banc d'essai, la méthode d'essai doit être définie par accord entre l'exploitant et le constructeur.

## Annexe A (normative)

### Liste des essais combinés

**Tableau A.1 – Liste des essais combinés**

| N° de l'essai | Spécifié à l'article/ paragraphe | Cas d'essai                                                                        | Essais obligatoires | Essais facultatifs, soumis à accord |
|---------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| 1             | 7.2                              | Essai des caractéristiques de couple, moteur chaud                                 | X                   |                                     |
| 2             | 7.3                              | Essai des caractéristiques de couple, moteur froid                                 | X                   |                                     |
| 3             | 7.4                              | Couple de démarrage à vitesse nulle                                                |                     | X                                   |
| 4             | 8.2                              | Caractéristiques de rendement                                                      |                     | X (variante à 8.3)                  |
| 5             | 8.3                              | Consommation d'énergie sur profil d'itinéraire                                     |                     | X (variante à 8.2)                  |
| 6             | 9.2                              | Essai d'échauffement à charge constante                                            | X (variante à 9.3)  |                                     |
| 7             | 9.3                              | Échauffement sur profil d'itinéraire                                               | X (variante à 9.2)  |                                     |
| 8             | 9.4                              | Essai avec différences de diamètre des roues pour moteurs asynchrones en parallèle |                     | X                                   |
| 9             | 10.1                             | Essai de la fonction antirecul                                                     |                     | X                                   |
| 10            | 10.2                             | Transition traction-freinage                                                       | X                   |                                     |
| 11            | 11                               | Variation de la tension d'alimentation                                             | X                   |                                     |
| 12            | 12.2                             | Essai de variation brusque de tension                                              |                     | X                                   |
| 13            | 12.3                             | Interruption de la tension d'alimentation de traction                              |                     | X                                   |
| 14            | 12.4                             | Perte de contact de la tension d'alimentation de traction                          |                     | X                                   |
| 15            | 12.5                             | Perte brusque de la capacité de récupération                                       | X                   |                                     |
| 16            | 12.6                             | Arrêt de l'onduleur de traction                                                    |                     | X                                   |
| 17            | 12.7                             | Fonctions de calcul de la température                                              |                     | X                                   |
| 18            | 12.8                             | Protection contre les surintensités et la surtension                               |                     | X                                   |
| 19            | 12.9                             | Interruption de l'alimentation de la batterie de contrôle-commande                 |                     | X                                   |
| 20            | 13.2                             | Perte de la fonction de détection                                                  |                     | X                                   |
| 21            | 13.3                             | Pertes des signaux de commande et de retour                                        |                     | X                                   |
| 22            | 13.4                             | Défaut des systèmes de refroidissement                                             |                     | X                                   |
| 23            | 13.5                             | Défauts de terre et de court-circuit                                               |                     | X                                   |
| 24            | C.3                              | Essai de commutation (uniquement pour moteur à courant continu)                    | X                   |                                     |

## Annexe B (informative)

### Liste des articles faisant l'objet d'accords entre l'exploitant et le constructeur

**Tableau B.1 – Liste des paragraphes comprenant des accords  
entre l'exploitant et le constructeur**

| Numéro d'article/<br>paragraphe | Titre de l'article/<br>paragraphe       | Titre de<br>l'article/paragraphe             | Sujet                                                                                                                                       |
|---------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                               |                                         | Domaine d'application                        | Représentativité du système de traction en essai par rapport au système de traction et écarts                                               |
| 4                               |                                         | Caractéristiques du système de traction      | Niveau de tension de l'alimentation, température de référence du moteur et différence des résultats de mesure des caractéristiques internes |
| 5                               |                                         | Exigences générales d'essai                  | Essai facultatif, nécessité de répéter l'essai de type en cas de système de traction existant, modifications, et essai sur véhicule         |
| 6.1.1                           | Montage du système de traction en essai | Conditions générales d'essai                 | Composants à équiper de capteurs de température                                                                                             |
| 6.1.2.2                         | Alimentation électrique du banc d'essai | Conditions générales d'essai                 | Plage de tensions ou limitation de puissance de l'alimentation électrique                                                                   |
| 6.2                             | Refroidissement pendant l'essai         | Conditions générales d'essai                 | Simulations de refroidissement et correction de la température ambiante                                                                     |
| 6.3.1                           | Généralités                             | Mesurage de la puissance mécanique de sortie | Autres méthodes de mesure de la puissance mécanique de sortie                                                                               |
| 7.1                             | Généralités                             | Essai des caractéristiques de couple         | Mesurage de $\frac{1}{4}$ , $\frac{1}{2}$ et $\frac{3}{4}$ de la référence de couple maximale                                               |
| 7.2.2                           | Conditions d'essai                      | Essai des caractéristiques de couple         | Températures de l'enroulement statorique                                                                                                    |
| 8.1                             | Généralités                             | Rendement et essai de consommation d'énergie | Mesurage du rendement ou de la consommation d'énergie                                                                                       |
| 8.3.3                           | Procédure d'essai                       | Rendement et essai de consommation d'énergie | Méthode de mesure de la consommation d'énergie                                                                                              |
| 9.1                             | Généralités                             | Essai d'échauffement                         | Méthode d'essai d'échauffement                                                                                                              |
| 9.2.1                           | Objectif de l'essai                     | Essai d'échauffement                         | Valeurs assignées du système                                                                                                                |
| 9.2.2                           | Conditions d'essai                      | Essai d'échauffement                         | Valeurs assignées du système                                                                                                                |
| 9.3.1                           | Objectif de l'essai                     | Essai d'échauffement                         | Valeurs assignées du système                                                                                                                |
| 9.4.4.2.1                       | Généralités                             | Essai d'échauffement                         | Méthode de calcul au lieu de l'essai                                                                                                        |
| 9.4.4.3.1                       | Généralités                             | Essai d'échauffement                         | Méthode de calcul au lieu de l'essai                                                                                                        |
| 12.1                            | Généralités                             | Essai des systèmes de protection             | Autres essais des systèmes de protection                                                                                                    |
| 12.2.2                          | Conditions d'essai                      | Essai des systèmes de protection             | Temps de montée et temps de descente des variations de tension                                                                              |
| 12.4.2                          | Conditions d'essai                      | Essai des systèmes de protection             | Période de perte de contact de tension                                                                                                      |
| 13.5                            | Défauts de terre et de court-circuit    | Essai de gestion des défauts                 | Méthode d'essai                                                                                                                             |
| Annexe A                        | Tableau A.1 – Liste des essais combinés | (normative)<br>Liste des essais combinés     | Essais facultatifs                                                                                                                          |

## Annexe C (normative)

### Éléments et conditions d'essai spéciaux pour moteurs à courant continu

#### C.1 Généralités

La présente annexe spécifie les conditions et les éléments d'essai spéciaux applicables aux moteurs à courant continu.

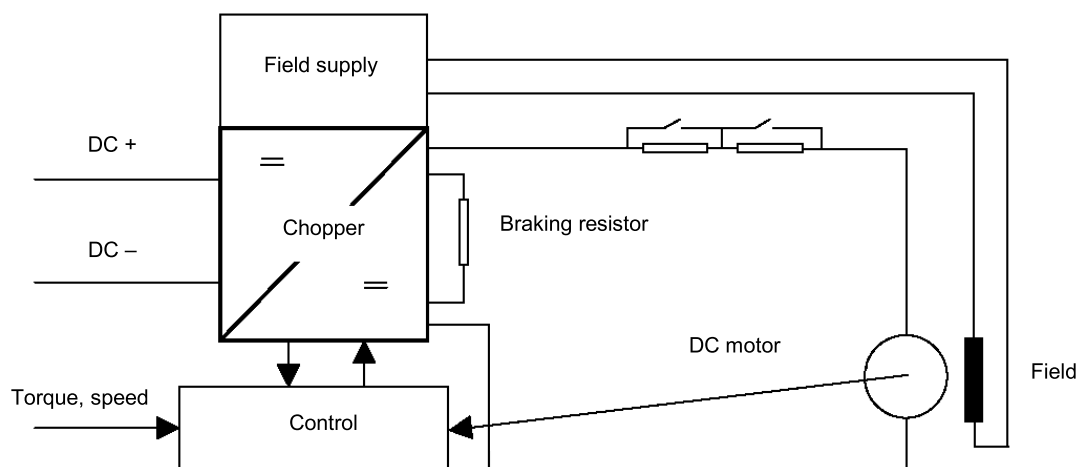
Les articles suivants ne sont pas applicables aux moteurs à courant continu:

- 9.4 Essai avec différences de diamètre des roues pour moteurs asynchrones en parallèle (la Figure 13 et les formules de glissement ne sont pas applicables);
- 10.2 Transition traction-freinage.

#### C.2 Architecture du banc d'essai

##### C.2.1 Montage d'essai

La Figure C.1 représente un exemple de configuration pour le freinage avec moteur à courant continu à excitation séparée.



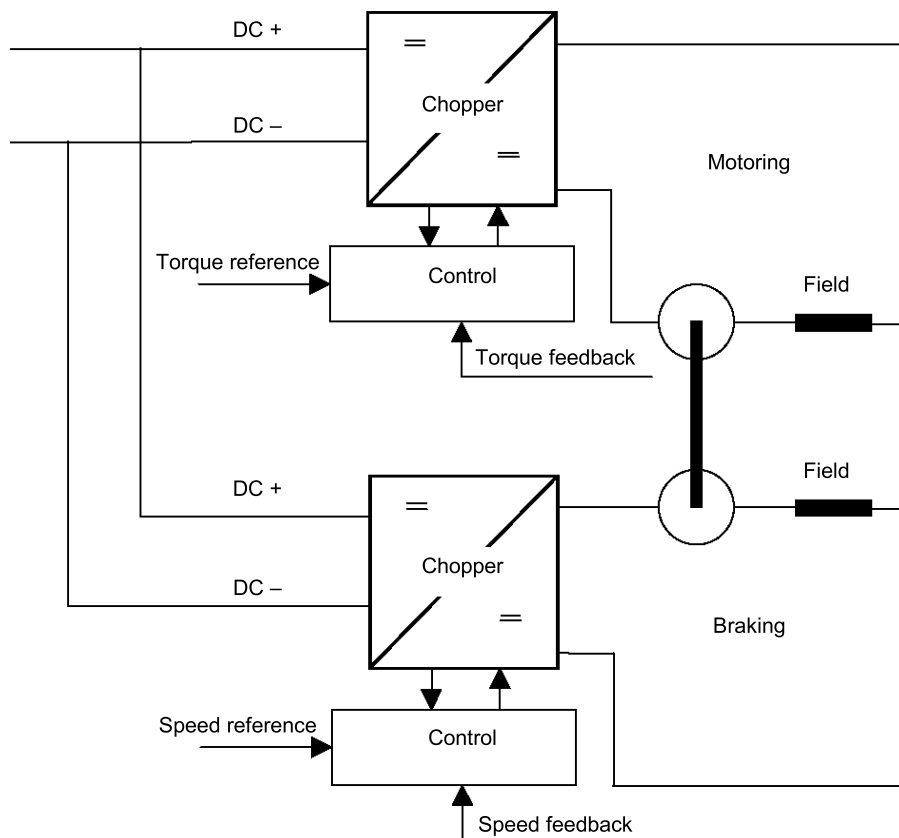
IEC

| Anglais          | Français                 |
|------------------|--------------------------|
| Field supply     | Alimentation de champ    |
| DC               | Courant continu          |
| Chopper          | Hacheur                  |
| Braking resistor | Résistance de freinage   |
| Torque, speed    | Couple, vitesse          |
| DC motor         | Moteur à courant continu |
| Control          | Régulateur               |
| Field            | Champ                    |

**Figure C.1 – Exemple de configuration de freinage pour un système de traction en essai avec moteur à courant continu à excitation séparée**

### C.2.2 Système de charge

La Figure C.2 représente la disposition pour l'essai dos à dos d'un hacheur et d'un moteur à courant continu.



IEC

| Anglais          | Français             |
|------------------|----------------------|
| Motoring         | Traction             |
| DC               | Courant continu      |
| Chopper          | Hacheur              |
| Torque reference | Référence de couple  |
| Control          | Régulateur           |
| Field            | Champ                |
| Torque feedback  | Retour couple        |
| Braking          | Freinage             |
| Speed reference  | Référence de vitesse |
| Speed feedback   | Retour vitesse       |

**Figure C.2 – Disposition du banc d'essai pour l'essai dos à dos du système de traction en essai avec moteur à courant continu**

### C.3 Essai de commutation

L'essai de commutation sur les moteurs à courant continu doit être réalisé conformément à l'IEC 60349-1.

L'essai défini en 8.3.2 et 8.3.3, point 1 (Com 1), de l'IEC 60349-1, doit être réalisé à la fois en traction et en freinage, à la vitesse maximale d'utilisation et avec le courant maximal, avec la tension d'alimentation à la valeur capable de produire les conditions d'ondulation les plus défavorables.

L'essai défini en 8.3.2 et 8.3.3, point 3 (Com 3), de l'IEC 60349-1, doit être réalisé dans la condition d'ondulation la plus défavorable.

## Bibliographie

IEC 60050-411, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 411: Machines tournantes*

IEC 60050-551, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 551: Electronique de puissance*

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

IEC 60077-3, *Applications ferroviaires – Equipements électriques du matériel roulant – Partie 3: Composants électrotechniques – Règles pour disjoncteurs à courant continu*

IEC 60077-4, *Applications ferroviaires – Equipements électriques pour le matériel roulant – Partie 4: Composants électrotechniques – Règles pour disjoncteurs à courant monophasé*

IEC 60310, *Applications ferroviaires – Transformateurs de traction et bobines d'inductance à bord du matériel roulant*

IEC 60322, *Applications ferroviaires – Equipements électriques du matériel roulant – Règles relatives aux résistances de puissance de construction ouverte*

IEC 60571, *Applications ferroviaires – Equipements électroniques utilisés sur le matériel roulant*

IEC 62236-3-1, *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique – Partie 3-1: Matériel roulant – Trains et véhicules complets*

IEC 62236-3-2, *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique – Partie 3-2: Matériel roulant – Appareils*

IEC 62498-1, *Applications ferroviaires – Conditions d'environnement pour le matériel – Partie 1: Équipement embarqué du matériel roulant*

ISO 14253-2, *Spécification géométrique des produits (GPS) – Vérification par la mesure des pièces et des équipements de mesure – Partie 2: Lignes directrices pour l'estimation de l'incertitude dans les mesures GPS, dans l'étalonnage des équipements de mesure et dans la vérification des produits*

ISO 17025, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM)*

ISO/IEC Guide 99, *Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM)*





INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

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

Tel: + 41 22 919 02 11  
Fax: + 41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)