

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
1377

Première édition
First edition
1996-05

**Traction électrique – Matériel roulant –
Essais combinés de moteurs à courant
alternatif alimentés par onduleur
et de leur régulation**

**Electric traction – Rolling stock –
Combined testing of inverter-fed
alternating current motors
and their control**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1377: 1996

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Accès en ligne*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Accès en ligne)*

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique Internationale* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
On-line access*
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line access)*

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

* See web site address on title page.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
1377

Première édition
First edition
1996-05

**Traction électrique – Matériel roulant –
Essais combinés de moteurs à courant
alternatif alimentés par onduleur
et de leur régulation**

**Electric traction – Rolling stock –
Combined testing of inverter-fed
alternating current motors
and their control**

© CEI 1996 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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'éditeur.

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 the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

S

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Généralités.....	6
1.1 Domaine d'application et objet	6
1.2 Références normatives	8
1.3 Conditions d'environnement	10
2 Définitions.....	10
3 Caractéristiques d'un système combiné	14
3.1 Caractéristiques spécifiées.....	14
3.2 Caractéristiques de base.....	14
3.3 Caractéristiques d'un système combiné.....	14
3.4 Echange d'information et responsabilité	16
4 Catégories d'essais.....	16
4.1 Généralités	16
4.2 Essais de type.....	16
4.3 Essais d'investigations.....	18
5 Essais.....	18
5.1 Généralités	18
5.2 Conditions d'essai	18
5.3 Essais d'échauffement	24
5.4 Relevé des caractéristiques et tolérances.....	24
5.5 Essais divers.....	28
Tableau 1 – Liste des essais	30
Figures	
1 Transmission pour la traction.....	6
2 Exemple de points de mesure de l'alimentation continue d'entrée	32
3 Caractéristiques obligatoires – système combiné asynchrone à source de tension ..	34
4 Caractéristiques obligatoires – système combiné asynchrone à source de tension ..	36
5 Caractéristiques obligatoires – système combiné asynchrone à source de courant..	38
6 Caractéristiques obligatoires – système combiné synchrone à source de courant...	40
7 Disposition de banc d'essai pour l'essai en récupération d'un système combiné asynchrone.....	42
8 Effet d'un écart de diamètre des roues sur la caractéristique de couple des moteurs asynchrones.....	42
9 Exemple de plage de fonctionnement d'un système combiné à source de tension ..	42
Annexe A – Accords entre exploitant et constructeur.....	44

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 General	7
1.1 Scope and object	7
1.2 Normative references	9
1.3 Environmental conditions	11
2 Definitions	11
3 Combined system characteristics	15
3.1 Specified characteristics	15
3.2 Declared characteristics	15
3.3 Combined system characteristics	15
3.4 Exchange of information and responsibility	17
4 Test categories	17
4.1 General	17
4.2 Type tests	17
4.3 Investigation tests	19
5 Tests	19
5.1 General	19
5.2 Test conditions	19
5.3 Temperature-rise tests	25
5.4 Characteristic tests and tolerances	25
5.5 Miscellaneous tests	29
Table 1 – List of tests	31
Figures	
1 Traction drive	7
2 Example of measurement points of the d.c. input	33
3 Mandatory characteristics – voltage source asynchronous combined system	35
4 Mandatory characteristics – voltage source asynchronous combined system	37
5 Mandatory characteristics – current source asynchronous combined system	39
6 Mandatory characteristics – current source synchronous combined system	41
7 Test bed arrangement for back-to-back test of an asynchronous combined system	43
8 Effect of wheel diameter mismatch on the torque characteristic of asynchronous motors	43
9 Example of operating range of a voltage source combined system	43
Annex A – Agreement between user and manufacturer	45

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRACTION ÉLECTRIQUE –
MATÉRIEL ROULANT –

**Essais combinés de moteurs à courant alternatif alimentés
par onduleur et de leur régulation**

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes Internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques, représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes Internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la norme nationale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 1377 a été établie par le comité d'études 9 de la CEI: Matériel de traction électrique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
9/371/FDIS	9/380/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.

L'annexe A fait partie intégrante de cette norme.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTRIC TRACTION –
ROLLING STOCK –****Combined testing of inverter-fed alternating current
motors and their control**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes international Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 1377 has been prepared by IEC technical committee 9: Electric traction equipment.

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

FDIS	Report on voting
9/371/FDIS	9/380/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.

Annex A forms an integral part of this standard.

TRACTION ÉLECTRIQUE – MATÉRIEL ROULANT –

Essais combinés de moteurs à courant alternatif alimentés par onduleur et de leur régulation

1 Généralités

1.1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale s'applique aux combinaisons de moteur(s), d'onduleur et de leur régulation, et elle a pour objet de spécifier:

- les caractéristiques de performances des transmissions électriques constituées par un onduleur, des moteurs à courant alternatif et leur système de régulation;
- des méthodes de vérification de ces caractéristiques de performances par des essais.

Deux catégories de systèmes combinés peuvent être considérées:

- 1) Moteurs alimentés par un onduleur sans aucune régulation entre les grandeurs mécaniques de sortie (couple, vitesse) et l'onduleur (principalement des moteurs auxiliaires, par exemple des moteurs de ventilateurs de refroidissement). Le moteur fonctionne exactement comme s'il était alimenté par un jeu de barres omnibus (à fréquence et tension variables ou non).
- 2) Moteur(s) (pouvant être alimentés ou non en parallèle) avec une régulation entre les grandeurs mécaniques de sortie et l'onduleur.

La première catégorie de systèmes est essayée d'après la CEI 349-2 et la CEI 1287-1.

La présente norme s'applique à la seconde catégorie, principalement aux transmissions pour la traction.

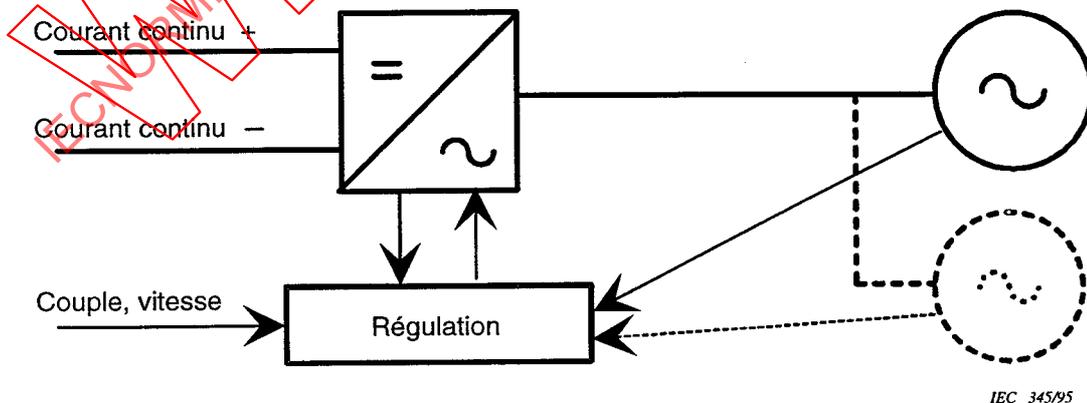


Figure 1 – Transmission pour la traction

ELECTRIC TRACTION – ROLLING STOCK –

Combined testing of inverter-fed alternating current motors and their control

1 General

1.1 Scope and object

This International Standard applies to the combinations of motor(s), inverter and their control, and its object is to specify:

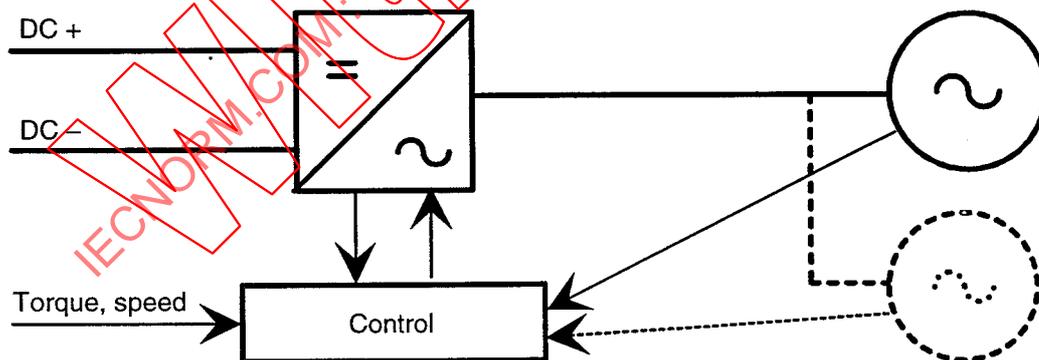
- the performance characteristics of electric drives consisting of an inverter, alternating current motors, and the related control system;
- methods of verifying these performance characteristics by tests.

Two categories of combined systems can be considered:

- 1) Motors fed from an inverter without any control between the mechanical output (torque, speed) and the inverter (mostly auxiliary motors, for example cooling fan motors). The motor works exactly as if it were fed from a busbar (at variable frequency and voltage or not).
- 2) Motor(s) (paralleled or not) with a control between the mechanical output and the inverter.

The first category of systems is tested according to IEC 349-2 and IEC 1287-1.

This standard applies to the second category, mainly traction drives.



IEC 345/96

Figure 1 – Traction drive

La CEI 349-2 s'applique aux moteurs à courant alternatif alimentés par convertisseurs, la CEI 1287-1 aux convertisseurs électroniques de puissance, les parties 1, 2 et 3 de la CEI 571 aux équipements électroniques. La présente norme s'applique à la combinaison d'un ou plusieurs moteurs, d'un onduleur et de leur contrôle. En conséquence, la CEI 349-2 décrit les essais permettant de démontrer que le moteur est conforme à sa spécification, la CEI 1287-1 fait de même pour l'onduleur. Il va de soi que certains des essais mentionnés dans la présente norme peuvent généralement remplacer les essais correspondants décrits dans les normes susmentionnées. Il est recommandé qu'un accord soit conclu entre les parties pour éviter la duplication des essais.

Au moment de la rédaction de cette norme, seules les combinaisons de moteurs et d'onduleurs dont la liste est donnée ci-dessous avaient été utilisées pour les applications de la traction, mais il n'est pas exclu qu'elle puisse s'appliquer à d'autres combinaisons qui pourraient être utilisées dans l'avenir:

- moteurs asynchrones alimentés par onduleur source de tension;
- moteurs asynchrones alimentés par onduleur source de courant;
- moteurs synchrones alimentés par onduleur source de courant.

La source de courant continu peut être une ligne d'alimentation, un redresseur, un hacheur, un convertisseur d'entrée, une génératrice diesel avec des redresseurs incorporés, etc.

1.2 *Références normatives*

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 50(411): 1973, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 411: Machines tournantes*

CEI 50(551): 1982, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 551: Electronique de puissance*

CEI 50(811): 1991, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 811: Traction électrique*

CEI 349-2: 1993, *Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers – Partie 2: Moteurs à courant alternatif alimentés par convertisseur électronique*

CEI 349-3: 1995, *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*

CEI 571-1: 1990, *Equipements électroniques utilisés sur les véhicules ferroviaires – Partie 1: Généralités et essais des équipements électroniques*

IEC 349-2 applies to convertor-fed alternating current motors, IEC 1287-1 to power electronic convertors; parts 1, 2 and 3 of IEC 571 apply to electronic equipments, this standard applies to the combination of motor(s), inverter, and their control. As a consequence, IEC 349-2 describes the tests to demonstrate the compliance of the motor to its specification, IEC 1287-1 does the same for the inverter. It is self-evident that some of the tests mentioned in this standard generally may replace the corresponding ones described in the above mentioned standards. An agreement should be reached between the parties to avoid the duplication of tests.

At the time of drafting this standard, only the following combinations of motors and inverters have been used for traction applications, but it may also apply to other combinations which may be used in the future:

- asynchronous motors fed by voltage source inverter;
- asynchronous motors fed by current source inverter;
- synchronous motors fed by current source inverter.

The d.c. source can be a supply line, a rectifier, a chopper, an input convertor, a diesel generator with integrated rectifiers, etc.

1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 50(411): 1973, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 411: Rotating machines*

IEC 50(551): 1982, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 551: Power electronics*

IEC 50(811): 1991, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 811: Electric traction*

IEC 349-2: 1993, *Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles – Part 2: Electronic convertor-fed alternating current motors*

IEC 349-3: 1995, *Rail and road vehicles – Determination of the total losses of convertor-fed alternating current motors by summation of the component losses*

IEC 571-1: 1990, *Electronic equipment used on rail vehicles – Part 1: General requirements and tests for electronic equipment*

CEI 571-2: 1988, *Equipements électroniques utilisés sur les véhicules ferroviaires – Partie 2: Normalisation de certaines grandeurs mécaniques et électriques – Principes des dispositifs d'essai*

CEI 571-3: 1990, *Equipements électroniques utilisés sur les véhicules ferroviaires – Partie 3: Composants, équipements électroniques programmables et fiabilité des systèmes électroniques*

CEI 850: 1988, *Tensions d'alimentation des réseaux de traction*

CEI 1287-1: 1995, *Convertisseurs de puissance embarqués sur le matériel roulant ferroviaire – Partie 1: Caractéristiques et méthodes d'essais*

1.3 Conditions d'environnement

Les conditions d'environnement relatives au moteur, à l'onduleur et à leur système de régulation sont détaillées dans la CEI 349-2, la CEI 1287-1 et la CEI 571-1.

2 Définitions

Pour la définition des termes généraux utilisés dans cette norme, il est recommandé de se référer à la CEI 50(411), à la CEI 50(551), à la CEI 50(811), à la CEI 1287-1 et à la CEI 349-2.

Pour les besoins de cette Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent:

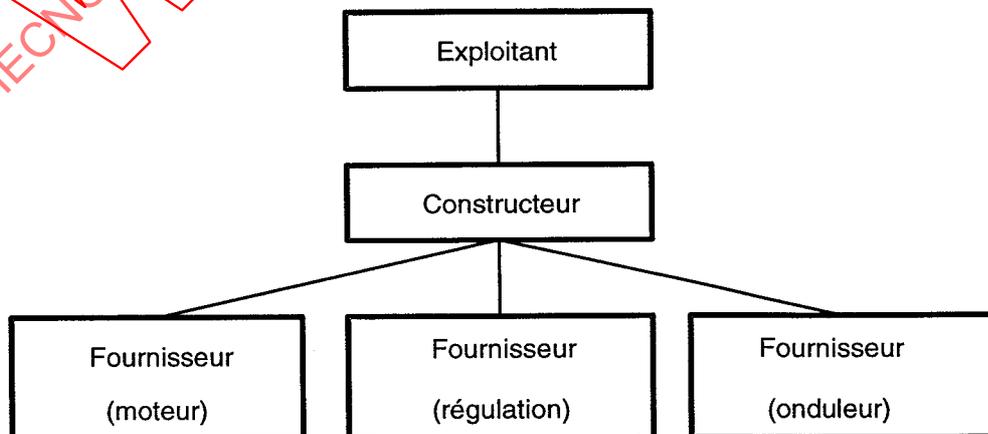
2.1 **système combiné:** Élément constitué par l'onduleur, le ou les moteurs et la régulation qui s'y rapporte, les câbles de puissance équivalents qui les relient et un système de refroidissement équivalent.

2.2 **exploitant:** Organisme qui commande le système combiné. L'exploitant est normalement un organisme qui utilise le véhicule ou l'équipement, à moins que la responsabilité ne soit déléguée à un maître d'oeuvre principal ou à un consultant.

2.3 **constructeur:** Organisme qui a la responsabilité technique de la fourniture du système combiné.

NOTE – Le constructeur tel qu'il est défini ci-dessus peut aussi être le fournisseur du moteur, le fournisseur de l'onduleur, le fournisseur de la régulation, ou le fournisseur de tous ou d'aucun de ces constituants.

2.4 **fournisseur:** Organisme qui a la responsabilité d'un ou de plusieurs constituants du système combiné.



IEC 571-2: 1988, *Electronic equipment used on rail vehicles – Part 2: Standardization of certain mechanical and electrical quantities – Principle of test devices*

IEC 571-3: 1990, *Electronic equipment used on rail vehicles – Part 3: Components, programmable electronic equipment and electronic system reliability*

IEC 850: 1988, *Supply voltage of traction systems*

IEC 1287-1: 1995, *Power convertors installed on board rolling stock – Part 1: Characteristics and test methods*

1.3 Environmental conditions

Environmental conditions relative to motor, inverter, and control system are detailed in IEC 349-2, IEC 1287-1 and IEC 571-1.

2 Definitions

For the definition of general terms used in this standard, reference should be made to IEC 50(411), IEC 50(551), IEC 50(811), IEC 1287-1 and IEC 349-2.

For the purpose of this International Standard, the following definitions apply:

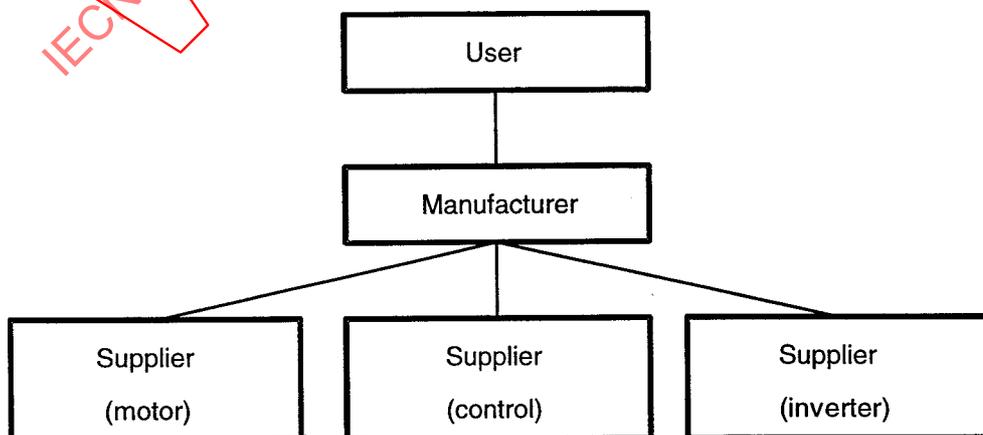
2.1 combined system: The unit consisting of the inverter, the motor(s), their related control system, equivalent power cables connecting them, and an equivalent cooling system.

2.2 user: The organization which orders the combined system. The user is normally an organisation which uses the vehicle or the equipment, unless the responsibility is delegated to a main contractor or consultant.

2.3 manufacturer: The organization which has the technical responsibility for the supply of the combined system.

NOTE – The manufacturer as defined above may also be the supplier of the motor, of the inverter, of the control, or of all of them, or of none of them.

2.4 supplier: The organization which has the responsibility of one or more of the constituents of the combined system.



2.5 **ateliers du constructeur:** Lieu où les essais sont généralement effectués.

2.6 **service:** Stipulation de la charge à laquelle est soumis le système combiné, en incluant le cas échéant les périodes de freinage électrique, de marches à vide, de repos, ainsi que leur durée et leur ordre de succession dans le temps.

2.7 **cycle de service:** Variation de la charge en fonction du temps, pouvant ou non se répéter, d'une durée insuffisante pour que l'équilibre thermique soit atteint.

2.8 **profil de charge** (voir aussi la CEI 1287-1): Principalement le courant de sortie de l'onduleur ainsi que les autres paramètres convenables, en fonction du temps, auquel le système combiné est soumis pour obtenir le service défini plus haut.

NOTES

- 1 Le profil de charge peut correspondre à un service effectif ou être un cycle théorique.
- 2 La connaissance du courant de sortie de l'onduleur est utile pour déterminer les plus mauvaises conditions d'échauffement des composants de l'onduleur.

2.9 **régime assigné d'un système combiné:** Ensemble des valeurs simultanées des grandeurs électriques et mécaniques, associées à leur durée et à leur ordre de succession, attribuées au système combiné par le constructeur.

2.10 **valeur assignée:** Valeur numérique de toute grandeur mentionnée dans un régime assigné.

2.11 **régime continu assigné:** Puissance mécanique que le système combiné peut délivrer au banc d'essai à une vitesse donnée pendant une durée illimitée sans dépasser les limites d'échauffement données dans la CEI 349-2 et la CEI 1287-1.

NOTE - Plusieurs régimes continus peuvent être spécifiés.

2.12 **régime de courte durée assigné (par exemple, régime unihoraire):** Puissance mécanique que le système combiné peut délivrer au banc d'essai, à une vitesse donnée, pendant la durée fixée, sans dépasser les limites d'échauffement données dans le tableau 2 de la CEI 349-2 et dans la CEI 1287-1, en démarrant avec le système combiné froid, toutes les autres prescriptions des normes ici mentionnées étant satisfaites.

2.13 **régime de surcharge de courte durée assigné:** Puissance mécanique que le système combiné peut délivrer au banc d'essai à une vitesse donnée pendant la durée fixée. L'essai est pratiqué comme il est spécifié en 6.1.6 de la CEI 349-2, sans dépasser les limites d'échauffement données dans le tableau 3 de la CEI 349-2 et dans la CEI 1287-1.

NOTE - Les régimes de surcharge de courte durée assignés concourent à déterminer l'aptitude des systèmes combinés à assurer des services qui comprennent des périodes d'utilisation de durée relativement longue à un régime inférieur au régime continu, suivie d'une période à un régime supérieur à celui-ci. Ces fonctionnements sont caractéristiques de ceux se produisant sur des locomotives. Ils ne sont pas applicables à des cycles répétitifs de courte charge tels que ceux que l'on peut rencontrer dans les transports urbains et similaires. Il ne convient pas qu'ils soient spécifiés pour de telles applications.

2.14 **régime intermittent assigné:** Cycle de service pour lequel le système combiné peut fonctionner sans que l'échauffement en aucun point ne dépasse les limites données dans la CEI 349-2 et dans la CEI 1287-1.

2.15 **régime périodique assigné:** Service périodique qui peut être appliqué au système combiné sans que l'échauffement en aucun point ne dépasse les limites données dans la CEI 349-2 et dans la CEI 1287-1.

2.5 **manufacturer's works:** The location where tests are generally performed.

2.6 **duty:** The statement of the load to which the combined system is subjected, including, if applicable, electric braking, no load, rest and de-energized periods, including their durations and sequence in time.

2.7 **duty cycle:** A variation of load with time which may or may not be repeated, and in which the cycle time is too short for thermal equilibrium to be attained.

2.8 **load profile** (see also IEC 1287-1): Mainly the inverter output current and other relevant parameters, as a function of time, to which the combined system is subject, to obtain the above defined duty.

NOTES

1 The load profile can correspond to the effective duty, or be a theoretical cycle.

2 Knowledge of the inverter output current is of use in determining the worst case conditions of temperature rise of inverter components.

2.9 **rating of a combined system:** Combination of simultaneous values of electrical and mechanical quantities, with their duration and sequence, assigned to the combined system by the manufacturer.

2.10 **rated value:** Numerical value of any quantity included in a rating.

2.11 **continuous rating:** Mechanical output that the combined system can deliver on the test bed at a given speed for an unlimited time without exceeding the limits of temperature rise given in IEC 349-2 and IEC 1287-1.

NOTE - Several continuous ratings may be specified.

2.12 **short-time rating** (for example, 1 h): Mechanical output that the combined system can deliver on the test bed at a given speed for the stated time without exceeding the limits of temperature rise given in table 2 of IEC 349-2 and in IEC 1287-1, starting with the combined system cold, all other requirements of here mentioned standards being satisfied.

2.13 **short-time overload rating:** Mechanical output that the combined system can deliver on the test bed at a given speed for the stated time. The test is carried out as specified in 6.1.6 of IEC 349-2, without exceeding the limits of temperature rise given in table 3 of IEC 349-2 and in IEC 1287-1.

NOTE - Short-time overload ratings are of value in determining the suitability of combined systems for duties which involve relatively long periods of operation below the continuous rating followed by a period above it. These are most likely to occur in locomotive applications. They are not relevant to repeated short-load cycles of rapid transit and similar duties, and should not be specified for such applications.

2.14 **intermittent duty rating:** Duty cycle on which the combined system may be operated without the temperature rise at any point exceeding the limits given in IEC 349-2 and IEC 1287-1.

2.15 **periodic duty rating:** Periodic duty on which the combined system may be operated without the temperature rise at any point exceeding the limits given in IEC 349-2 and IEC 1287-1.

3 Caractéristiques d'un système combiné

3.1 Caractéristiques spécifiées

La spécification d'un système combiné doit, en règle générale, comprendre des courbes caractéristiques. Ces courbes sont définies comme les «caractéristiques spécifiées». Elles doivent être tracées jusqu'aux limites de fonctionnement pour chaque variable. Elles doivent généralement être tracées pour les valeurs d'entrée côté courant continu imposées par la régulation s'il y a un circuit intermédiaire régulé côté courant continu, la tension d'alimentation du réseau de traction étant à sa valeur nominale spécifiée. S'il n'y a pas de circuit intermédiaire régulé côté courant continu, l'entrée continue est celle qui est obtenue lorsque la tension d'alimentation du réseau de traction est à sa valeur nominale spécifiée. Elles peuvent aussi être tracées pour la plus haute et la plus basse tension d'alimentation du réseau de traction si un accord a été conclu entre exploitant et constructeur. Ces caractéristiques doivent être tracées pour une température de référence des enroulements du moteur de 150 °C, et pour les températures des composants de l'onduleur prévues par le fournisseur.

La figure 2 donne quelques exemples des points où la tension et le courant continu peuvent être définis pour obtenir des conditions de mesure sûres.

En variante au couple et à la vitesse, les caractéristiques peuvent représenter l'effort de traction aux roues et la vitesse du véhicule. Dans ce cas, le rapport d'engrenage, le diamètre des roues et les pertes de la transmission doivent être indiqués. Si des valeurs conventionnelles sont utilisées pour ces dernières, elles doivent être conformes à la figure B.1 de la CEI 349-2.

Les caractéristiques spécifiées doivent être soumises à l'exploitant avant que la commande du système combiné ne soit enregistrée, sauf autre spécification.

Les valeurs de la tension d'alimentation du réseau de traction doivent être spécifiées par l'exploitant. Il est recommandé de les choisir de préférence parmi les valeurs normalisées de la CEI 850.

3.2 Caractéristiques de base

Courbes caractéristiques obtenues à partir des résultats de l'essai de type effectué suivant 5.4.

3.3 Caractéristiques d'un système combiné

Les caractéristiques de base et les caractéristiques spécifiées du système combiné, représentées en fonction de la vitesse, sur la plage complète de fonctionnement sont:

- a) Les caractéristiques externes telles que le couple mécanique moyen et la valeur moyenne des grandeurs d'entrée côté courant continu: tension, courant et puissance du système combiné.

Si le rendement est un paramètre important, il doit être demandé et cette caractéristique doit aussi être représentée. Le rendement est particulièrement important pour les systèmes combinés utilisés sur le matériel roulant thermique à transmission électrique ou les véhicules alimentés par batterie.

Les caractéristiques de rendement du système combiné doivent prendre en considération le moteur, l'onduleur, les câbles et tous les autres composants appropriés.

- b) Les caractéristiques internes qui sont la valeur efficace du courant de sortie de l'onduleur, la valeur efficace des composantes fondamentales du courant et de la tension de sortie de l'onduleur, le glissement pour les moteurs asynchrones et le courant d'excitation pour les moteurs synchrones.

3 Combined system characteristics

3.1 Specified characteristics

Combined 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 specified d.c. input values imposed by the control if there is a controlled d.c. link, the supply voltage of the traction system being at its specified nominal value. If there is no controlled d.c. link, the d.c. input is that which is obtained when the supply voltage of the traction system is 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 user and manufacturer. These characteristics shall be drawn for a reference temperature of the windings of the motor of 150 °C, and the temperature of the parts of the inverter expected by the supplier.

Figure 2 gives some examples of the points where d.c. voltage and current may be defined in order to have safe measurement conditions.

As an alternative to the torque and speed, the characteristics may show tractive effort at the wheels and vehicle speed. In which case, the gear ratio, wheel diameter and transmission losses shall be stated. If conventional values are used for the latter, they shall be in accordance with figure B.1 of IEC 349-2.

The specified characteristics shall be submitted to the user before the order for the combined system is placed, unless otherwise specified.

The values of the supply voltage of the traction system shall be specified by the user. They should preferably be the standard values according to IEC 850.

3.2 Declared characteristics

Characteristic curves obtained from the results of type tests carried out in accordance with 5.4.

3.3 Combined system characteristics

The specified and declared characteristics of the combined system shown as a function of speed, over the whole application range are:

- a) External characteristics such as the mean mechanical torque, the mean values of the d.c. input: voltage, current and power of the combined system.

If the efficiency is an important parameter, it shall be requested, and this characteristic shall also be shown. Efficiency is particularly important for combined systems used on thermal/electric rolling stock, or battery-fed vehicles.

The efficiency characteristic of the combined system shall take into account the motor, the inverter, the cables and other relevant components.

- b) Internal characteristics which are the root-mean-square value of the output current of the inverter, the root-mean-square of the fundamental components of the output current and voltage of the inverter, the slip of asynchronous motors, and the excitation current for synchronous motors.

c) Des valeurs internes telles que les transitoires de commutation, qui sont les valeurs crête à crête de la tension entre phases et de la tension entre phase et terre des sorties polyphasées de l'onduleur, les températures, etc.

NOTE – Les transitoires internes de commutation servent à vérifier la tension d'essai diélectrique des constituants.

Les caractéristiques doivent être tracées au moins pour la référence maximale de couple (valeur affichée du manipulateur) sur la plage complète de vitesse de fonctionnement, en traction et en freinage si le freinage électrique est proposé. Elles peuvent aussi être tracées pour 1/4, 1/2 et 3/4 de la référence maximale de couple à toutes les vitesses, si un accord a été conclu entre l'exploitant et le constructeur.

Seules les caractéristiques externes et le maximum des transitoires de commutation internes sont obligatoires. Si la mesure du rendement est demandée, elle doit inclure les pertes par excitation dans le cas des machines synchrones. Les autres valeurs et caractéristiques internes doivent être mesurées, mais les résultats ne doivent pas influencer la réception du système combiné.

Les figures 3 à 6 présentent des exemples des courbes obligatoires les plus communes.

3.4 *Echange d'information et responsabilité*

La CEI 349-2 et la CEI 1287-1 mentionnent l'échange d'information entre le fournisseur du moteur et le fournisseur de l'onduleur afin de s'assurer que le système combiné répond aux prescriptions des normes susmentionnées, les documents enregistrant cet échange d'information faisant partie intégrante de la spécification du moteur et de l'onduleur.

Le paragraphe 2.3 définit le constructeur comme étant l'organisme qui a la responsabilité technique de la fourniture du système combiné. En conséquence, il est responsable de la spécification technique des constituants du système combiné afin de satisfaire aux prescriptions de la présente norme.

4 **Catégories d'essais**

4.1 *Généralités*

Il y a trois catégories d'essais:

- les essais de type;
- les essais d'investigation;
- les essais de série.

La présente norme ne concerne pas directement les essais de série. Chaque composant du système subit les essais de série suivant la norme qui lui est propre.

4.2 *Essais de type*

Les essais de type ont pour but de valider les régimes assignés, les caractéristiques et les performances d'un nouveau système combiné. Ils doivent être effectués sur chaque système combiné de conception nouvelle.

c) Internal values such as switching transients, which are the peak-to-peak voltage of the line-to-line and line-to-earth voltage of the multiphase output of the inverter, temperatures, etc.

NOTE – Internal switching transients are of use to check the dielectric test voltage of the constituents.

The characteristics shall be drawn at least for the maximum torque reference (main controller demand) over the entire speed range of the application, in motoring and braking if electric braking is proposed. They may also be drawn for 1/4, 1/2 and 3/4 of the maximum torque reference at any speed, if agreed between user and manufacturer.

Only external characteristics, and the maximum internal switching transients are mandatory. If the measurement of efficiency is requested, it shall include excitation losses in the case of synchronous machines. The other internal characteristics and values shall be measured, but the results shall not influence the acceptance of the combined system.

Figures 3 to 6 show examples of the most common mandatory curves.

3.4 Exchange of information and responsibility

IEC 349-2 and IEC 1287-1 point out the need for the exchange of information between the motor supplier and the inverter supplier, to ensure that the combined system will meet the requirements of the above mentioned standards, the documents recording this exchange of information being an integral part of the specification of the motor and of the inverter.

Subclause 2.3 defines the manufacturer as the organization which has the technical responsibility for the supply of the combined system. As a consequence, it is responsible for the technical specification of the constituents of the combined system in order to meet the requirements of this standard.

4 Test categories

4.1 General

There are three categories of tests:

- type tests;
- investigation tests;
- routine tests.

This standard is not directly concerned with routine tests. Each component of the system is routine tested according to its relevant standard.

4.2 Type tests

Type tests are intended to prove the ratings, characteristics and performances of a new combined system. They shall be carried out on one combined system of every new design.

Si des modifications de la conception ou du procédé de fabrication des constituants sont décidées après que le système combiné a été testé, l'influence de ces modifications sur les performances du système combiné doit être évaluée. Un accord peut alors être conclu entre l'exploitant et le constructeur pour ne pas refaire l'essai de type ou ne refaire que certains des essais.

Sous réserve d'accord entre exploitant et constructeur, un essai de type n'est pas exigé si le constructeur fournit un rapport complet d'essai de type effectué sur un système combiné de même étude, avec les mêmes conditions de refroidissement, au même régime ou à un régime plus élevé.

4.3 Essais d'investigation

Le but des essais d'investigation est d'obtenir des informations complémentaires soit sur l'onduleur lorsqu'il alimente le moteur, soit sur le moteur lorsqu'il est alimenté par l'onduleur, soit sur la régulation du système combiné. Ils ne doivent être effectués que si un accord préalable a été conclu entre exploitant et constructeur. Les résultats de ces essais ne doivent pas influencer la réception du système sauf accord entre exploitant et constructeur.

5 Essais

5.1 Généralités

L'essai combiné donne l'occasion de faire fonctionner les constituants du système combiné avec les paramètres réels comme en service. Le couple du moteur, la tension continue du circuit intermédiaire, le courant et la tension de sortie de l'onduleur, etc., sont ceux qui sont rencontrés en service.

Le constructeur doit fournir à l'exploitant, avant le commencement des essais, une spécification donnant les grandes lignes des essais à entreprendre suivant cette norme afin de satisfaire aux conditions du contrat. A la suite de l'exécution de ces essais, le constructeur doit fournir à l'exploitant un rapport d'essai complet.

5.2 Conditions d'essais

5.2.1 Refroidissement pendant les essais

Le système combiné doit être essayé avec son refroidissement disposé comme en service, en incluant les conduites et les filtres considérés comme une partie du véhicule, ou avec des dispositions donnant des conditions équivalentes. On peut effectuer la mesure de paramètres convenables (débit, pression, températures, etc.) pour démontrer que les conditions de refroidissement sont équivalentes à celles réalisées sur le véhicule.

Le refroidissement qui correspond au déplacement du véhicule peut être simulé pour les parties de l'équipement pour lesquelles le refroidissement naturel a de l'importance.

Toutes les simulations de refroidissement doivent faire l'objet d'un accord.

Des détails relatifs au refroidissement de chaque composant sont donnés dans les normes qui les régissent.

If modifications of the design, or manufacturing process of the constituents are decided after the combined system has been type-tested, the influence of these modifications on the performances of the combined system shall be evaluated. Then an agreement may be reached between user and manufacturer not to carry out the type test again, or to carry out only some of the tests.

Subject to agreement between user and manufacturer, a type test is not required if the manufacturer produces a full type test report carried out on a combined system of the same design, with the same cooling conditions, at the same rating or higher.

4.3 *Investigation tests*

The object of investigation tests is to obtain additional information either on the inverter when it feeds the motor, or on the motor when it is fed by the inverter, or on the control of the combined system. They shall be carried out only if a previous agreement has been reached between user and manufacturer. The results of these tests shall not influence the acceptance of the system unless so agreed between user and manufacturer.

5 Tests

5.1 *General*

Combined testing gives the opportunity to run the constituents of the combined system with the actual parameters as in service. The torque of the motor, the d.c. link voltage, the output current and voltage of the inverter, etc., are those produced in service.

The manufacturer shall provide to the user before the commencement of testing, a test specification outlining the tests to be undertaken from this standard to meet the contract requirements. Following the completion of testing, the manufacturer shall supply the user with a full test report.

5.2 *Test conditions*

5.2.1 *Cooling during the tests*

The combined system shall be tested with its cooling arranged as in service, including ducting and filters regarded as part of the vehicle, or with arrangements giving equivalent conditions. Measurements of relevant parameters (flow, pressure, temperatures, etc.) may be performed in order to show that the cooling conditions are equivalent to those encountered on the vehicle.

Cooling corresponding to that produced by the motion of the vehicle may be simulated for parts of the equipment for which natural cooling is of importance.

All simulations of cooling shall be subject to agreement.

Details about the cooling of each component are given in the relevant standards.

5.2.2 Câbles de puissance

On recommande que les câbles de puissance soient disposés pour donner, du point de vue thermique et électromagnétique, des conditions approximativement équivalentes à celles spécifiées. Il est recommandé que les câbles de puissance soient de préférence ceux qui seront utilisés sur le véhicule, mais des câbles de puissance équivalents peuvent aussi être utilisés. Toute information au sujet de ces câbles et de leur disposition doit être donnée par le constructeur si on le lui demande.

NOTE – Il n'est pas nécessaire d'avoir exactement la même disposition des câbles que sur le véhicule, pourvu que les plus mauvaises conditions locales soient simulées sur le banc d'essai. Si, par exemple, on peut s'attendre raisonnablement à ce que le plus fort échauffement soit atteint dans une portion de 2 m du cheminement des câbles, il est recommandé que cette partie soit simulée au banc d'essai, mais les autres parties du cheminement du câble peuvent être omises du point de vue thermique.

5.2.3 Alimentation de puissance

5.2.3.1 Généralités

L'alimentation de puissance peut être prélevée sur l'alimentation en courant continu du véhicule ou sur une autre source disponible au banc d'essai. Chaque fois que cela s'applique, les inductances, les capacités et les résistances du système doivent être prises en considération.

5.2.3.2 Source d'alimentation en courant continu du véhicule

La source de courant continu régulée peut provenir d'un redresseur contrôlé, d'un hacheur, d'un convertisseur à quatre quadrants ou de tout autre convertisseur régulé. L'ondulation de la tension (ou du courant) dans l'alimentation en courant continu doit être prise en considération.

5.2.3.3 Autre source d'alimentation en courant continu

L'alimentation en courant continu sera généralement la tension continue provenant du redressement hexaphasé pleine onde d'une tension triphasée sinusoïdale, mais elle peut aussi être toute autre source de courant continu: hacheur, génératrice à courant continu, etc.

5.2.4 Mesure de la puissance mécanique de sortie

La puissance mécanique de sortie doit être mesurée directement (couplemètre) ou indirectement (machine tarée) sur le ou les arbres du ou des moteurs. La précision des mesures doit être celle mentionnée dans les articles appropriés de cette norme.

En variante, si un accord a été conclu entre exploitant et constructeur, on peut aussi obtenir la puissance mécanique de sortie par sommation des pertes ou par une méthode de récupération si on dispose de deux systèmes combinés; ces méthodes sont en cours de confirmation (la figure 7 donne un exemple de disposition de banc d'essai pour une méthode d'essai par récupération).

NOTE – La méthode de sommation des pertes inclut l'évaluation des pertes:

- du moteur, déduites de mesures sur l'entrée alternative (le rapport technique CEI 349-3 traite de la méthode de sommation des pertes; dans ce cas, la précision des mesures sera celle indiquée dans ce rapport);
- de l'onduleur, déduites généralement des mesures de l'entrée côté courant continu;
- des câbles, et, s'il y en a, des résistances et inductances nécessaires pour faire fonctionner le système combiné.

5.2.2 Power cables

It is recommended that power cables are arranged to give almost equivalent conditions for thermal and electromagnetic aspects as specified. The power cables should preferably be those which will be used on the vehicle, but equivalent power cables may be used. All information about these cables and their arrangement shall be given by the manufacturer if requested.

NOTE – It is not necessary to have exactly the same arrangement of the cables as they will be in the vehicle, provided the local worst conditions are simulated on the test bed. As an example, if the highest temperature rise can reasonably be expected in a portion of 2 m of the cable layout, this portion should be simulated on the test bed, but other portions of the cable layout may be omitted for thermal aspects.

5.2.3 Power supply

5.2.3.1 General

The power supply can be derived from the vehicle d.c. supply or from another source available at the test bed. Whenever relevant, system inductance, capacitance and resistance shall be taken into account.

5.2.3.2 Vehicle d.c. supply source

The controlled d.c. supply can be derived either from a controlled rectifier, a chopper, a four quadrant convertor, or any other controlled converter. The ripple voltage (or current) in the d.c. supply shall be taken into consideration.

5.2.3.3 Other d.c. supply source

The d.c. supply will generally be the d.c. voltage converted from a three-phase sinusoidal voltage by full wave six-pulse rectification, but it may be any other d.c. source: chopper, d.c. generator, etc.

5.2.4 Mechanical output measurement

The mechanical output shall be measured directly (torquemeter) or indirectly (calibrated machine) at the motor(s) shaft(s). The accuracy of the measurements shall be that mentioned in the relevant clauses of this standard.

Alternatively, if agreed between user and manufacturer, the mechanical output may be derived by summation of losses or back-to-back method if two combined system are available; these methods are being confirmed (figure 7 gives an example of a test bed arrangement for a back-to-back method of test).

NOTE – The summation of losses method includes the evaluation of the losses of:

- the motor, derived from measurements on the a.c. input (IEC 349-3 technical report deals with the method of summation of loss; in this case, the accuracy of the measurements will be that stated in the report);
- the inverter, generally derived from the d.c. input measurements;
- the cables, and, if any, the resistors, and inductances necessary to run the combined system.

5.2.5 Conditions spéciales pour les moteurs asynchrones en parallèle

5.2.5.1 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 élevée (cas 1). La régulation peut aussi être étudiée pour maintenir tous les moteurs dans les limites de la charge qui leur serait appliquée s'il n'y avait aucun écart de diamètre des roues, par réduction de l'effort de traction (cas 2). En conséquence, l'écart de diamètre des roues affecte les caractéristiques de couple, ou les échauffements des moteurs, ou les deux. La plus grande différence admissible de diamètre des roues doit faire l'objet d'un accord entre exploitant et constructeur.

Les relevés de caractéristiques et les essais d'échauffement doivent être dans tous les cas effectués comme s'il n'y avait pas d'écart de diamètre des roues.

Si la régulation est prévue de sorte que certains des moteurs soient amenés à leur condition de charge la plus élevée (cas 1), un essai d'échauffement additionnel des moteurs doit être effectué. Si la régulation est prévue pour maintenir tous les moteurs dans les limites d'une charge donnée par réduction de l'effort de traction (cas 2), un relevé additionnel de caractéristique de couple peut être effectué si un accord a été conclu entre exploitant et constructeur.

5.2.5.2 Essai additionnel

Les conditions d'essais additionnels font l'objet d'un accord entre exploitant et constructeur:

- dans le cas (2), seul l'essai complet est susceptible d'être effectué;
- dans le cas (1), on a le choix entre un essai complet et un essai d'échauffement sur un moteur seulement.

Essai complet

Les moteurs en parallèle doivent être alimentés par un onduleur. Sauf spécification différente, ils doivent être chargés de sorte qu'ils aient la même vitesse, sauf l'un d'eux qui doit être chargé de sorte qu'il ait une vitesse qui corresponde à l'écart maximal de diamètre des roues.

Essai d'échauffement d'un moteur

Cet essai, sauf spécification différente, doit considérer qu'un seul moteur entraîne une roue qui a l'écart de diamètre maximal. La référence de la régulation doit être modifiée de sorte que le glissement corresponde aux conditions de charge les plus élevées du fait de l'écart de diamètre des roues. La figure 8 présente un exemple de l'effet de l'écart de diamètre des roues sur la caractéristique de couple et l'évolution du glissement.

NOTE - Le glissement correspondant vaut:

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

(+ en traction, - en freinage)

où

s (p.u.) est le glissement mesuré au cours des relevés de caractéristiques (moteur chaud, voir 5.4.1.2);

n est le nombre de moteurs en parallèle;

$\Delta D/D$ (p.u.) est l'écart maximal de diamètre des roues.

5.2.5 Special conditions for paralleled asynchronous motors

5.2.5.1 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 (case 1). The control may be designed to retain all the motors within a load which would apply if there was no wheel diameter mismatch by reduction of the tractive effort (case 2). As a consequence, the effect of the wheel diameter mismatch will affect the torque characteristics, or the temperature rise of the motors, or both. The maximum permissible difference in wheel diameter shall be agreed between user and manufacturer.

The characteristics and temperature rise tests shall in any case be performed as if there was no wheel diameter mismatch.

If the control is designed so that some of the motors are brought to their worst condition of load (case 1), an additional temperature-rise test of the motors shall be performed. If the control is designed to retain all the motors within a load by reduction of the tractive effort (case 2), an additional torque characteristic test may be performed if agreed between user and manufacturer.

5.2.5.2 Additional test

The conditions of additional tests are subject to agreement between user and manufacturer:

- in case (2), only the complete test can be performed;
- in case (1), there is a choice between a complete test and a temperature-rise test on one motor only.

Complete test

The paralleled motors shall be fed by one inverter. Unless otherwise specified, they shall be loaded to have the same speed, except one which shall be loaded in order to have a speed which corresponds to the maximum permissible wheel diameter mismatch.

Temperature-rise tests of one motor

This test, unless otherwise specified, shall consider that only one motor runs a wheel which has the maximum wheel diameter mismatch. The control reference shall be modified so that the slip corresponds to the worst conditions of load due to wheel diameter mismatch. Figure 8 shows an example of the effect of wheel diameter mismatch on the torque characteristic, and the evolution of the slip.

NOTE – The corresponding slip equals:

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

(+ in motoring, – in braking)

where

s (p.u.) is the slip measured during the characteristic tests (motor hot, refer to 5.4.1.2);

n is the number of motors in parallel;

$\Delta D/D$ (p.u.) is the maximum wheel diameter mismatch.

Pour toutes les applications où le fonctionnement en freinage ne s'applique pas, on doit effectuer un essai d'échauffement au régime continu majoré, pour tenir compte des plus mauvaises conditions de charge. Cet essai est généralement suffisant pour montrer que le moteur convient à l'application (principalement les locomotives).

Chaque fois que le fonctionnement en freinage s'applique, l'essai d'échauffement doit être effectué en utilisant le cycle de service spécifié afin d'atteindre les conditions maximales de température. Cet essai tient compte des conditions de charge plus élevées en traction et moins élevées en freinage (principalement les applications de transport urbain).

5.3 Essais d'échauffement

5.3.1 Généralités

Les essais doivent être effectués aux régimes du système combiné pour lesquels un accord a été conclu.

NOTE – Pour les moteurs en parallèle, des essais complémentaires suivant 5.2.5 peuvent être demandés.

Dans le cas d'un essai au régime continu assigné, le temps pour atteindre la stabilisation de la température peut être raccourci en commençant l'essai à une charge plus élevée ou avec une ventilation réduite de certains éléments du système, pourvu que les conditions assignées soient maintenues au moins 2 h ou qu'on ait montré, par des moyens appropriés, que les températures stabilisées ont été atteintes.

Dans le cas d'un essai à un régime périodique assigné, le temps pour atteindre la stabilisation de la température peut être raccourci en commençant l'essai à un régime calculé équivalent et en poursuivant avec des cycles répétitifs.

Le paragraphe 3.4 établit la responsabilité technique du constructeur du système combiné. En conséquence, il n'est pas nécessaire que le fournisseur effectue l'essai d'échauffement d'un constituant suivant la norme qui le régit. Le constituant peut être considéré comme ayant satisfait aux essais d'échauffement pourvu que, pendant l'essai combiné, les échauffements ne dépassent pas les valeurs spécifiées dans la norme qui le régit. Si aucune valeur n'est spécifiée dans cette norme, des valeurs peuvent alors être fixées d'un commun accord. Ceci demeure valable même si les paramètres électriques ne sont pas exactement ceux qui avaient été acceptés d'un commun accord entre fournisseur et constructeur.

5.3.2 Mesure des températures

La mesure de la température de parties du système combiné est décrite dans les normes appropriées.

5.4 Relevé des caractéristiques et tolérances

5.4.1 Caractéristiques de couple

5.4.1.1 Généralités

On doit effectuer des essais pour démontrer que le système satisfait aux caractéristiques de couple spécifiées en faisant tourner le ou les moteurs à une vitesse donnée. La référence de couple (valeur affichée du manipulateur) doit alors être donnée à l'élément de réglage afin de mesurer les caractéristiques du système combiné. On doit alors mesurer le couple de sortie (moyen) du moteur, la tension (moyenne), le courant (moyen) et la puissance (moyenne) du côté continu de l'onduleur.

For all applications where braking mode is not relevant, the temperature-rise tests for the continuous ratings, increased according to the worst load conditions, shall be carried out. This is generally sufficient to show that the motor is suitable for the application (mainly locomotives).

Whenever braking mode is relevant, the temperature-rise test shall be carried out, using the specified duty cycle in order to reach the maximum temperature conditions. This takes care of higher load conditions in motoring and lower load conditions in braking (mainly mass transit applications).

5.3 *Temperature-rise tests*

5.3.1 *General*

The tests shall be carried out at the agreed ratings of the system.

NOTE – For paralleled motors, additional tests may be required according to 5.2.5.

In the case of a continuous rating test, the time to reach a steady temperature may be shortened by commencing the test at an increased load or reduced ventilation of some elements 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.

In the case of a periodic duty rating test, 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.

Subclause 3.4 states the technical responsibility of the manufacturer of the combined system. As a consequence, it is not necessary that the supplier carries out the temperature-rise test of a constituent, according to its relevant standard. The constituent may be deemed to have passed the temperature-rise test, provided the temperature rises during the combined testing do not exceed the values specified in the constituent standards. If there are no values specified in the constituent standard, then values may be agreed upon. This remains valid even if the electric parameters are not exactly those agreed upon between the supplier and the manufacturer.

5.3.2 *Measurement of temperatures*

The measurement of the temperature of the parts of the combined system is described in the relevant standards.

5.4 *Characteristic tests and tolerances*

5.4.1 *Torque characteristics*

5.4.1.1 *General*

Tests to demonstrate compliance with the specified torque characteristics shall be carried out by running the motor(s) at a given speed. The torque reference (main controller demand) shall then be given to the control unit in order to measure the characteristics of the combined system. The (mean) motor output torque, the (mean) voltage, current and power, on the d.c. side of the inverter, shall then be measured.

NOTES

- 1 Le paragraphe 3.3 énonce que «les caractéristiques de couple doivent être tracées pour la référence maximale de couple».
- 2 Pour des moteurs en parallèle, des essais complémentaires suivant 5.2.5 peuvent être demandés.

La valeur limite de l'erreur de mesures ne doit pas dépasser:

- ±2 % du maximum du couple mécanique de référence à la vitesse considérée;
- ±1 % pour les valeurs moyennes de la tension, du courant et de la puissance côté continu;
- ±2 % pour les valeurs côté alternatif.

De même que pour l'essai d'échauffement, le ou les moteurs peuvent être considérés comme ayant satisfait aux relevés des caractéristiques de couple de la CEI 349-2 pourvu que les caractéristiques de couple mesurées pendant l'essai du système combiné satisfassent aux exigences de la présente norme. Cela demeure valable, même si les paramètres électriques ne sont pas exactement ceux qui avaient été acceptés d'un commun accord entre fournisseur et constructeur.

La température est un paramètre important qui influence le couple de sortie d'une quantité qui dépend des performances de la régulation, en particulier pour les transmissions asynchrones. Le relevé des caractéristiques de couple donne l'occasion de vérifier l'influence de l'échauffement sur le couple de sortie.

5.4.1.2 *Caractéristiques de couple moteur chaud*

Les caractéristiques de couple doivent être mesurées à la fin de l'essai d'échauffement, effectué d'après 5.3, qui doit entraîner vraisemblablement l'échauffement maximal de la cage d'un moteur asynchrone ou la température maximale des enroulements statoriques d'un moteur synchrone afin d'obtenir les caractéristiques du système combiné à cette température. Les mesures doivent être effectuées rapidement, et doivent commencer par la plus basse vitesse réalisable sur le banc d'essais (point 1 des figures 3 à 6). Il n'est pas nécessaire de relever beaucoup de points. Les figures 3 à 6 donnent des exemples du nombre de points nécessaires.

Tolérances: Le couple de base, à n'importe quelle vitesse de la caractéristique spécifiée, ne doit pas être inférieur à 95 % de la valeur spécifiée, entre les valeurs correspondant au couple maximal et à 90 % de la vitesse maximale.

5.4.1.3 *Caractéristiques de couple moteur froid*

Le moteur étant froid suivant les critères de la CEI 349-2, article A.1, le couple doit être mesuré à la même vitesse la plus basse que celle pour laquelle il a été mesuré moteur chaud (point 1 des figures 3 à 6). Les mesures doivent être effectuées rapidement, et les températures doivent être mesurées à la fin de l'essai pour s'assurer qu'elles n'ont pas varié de façon significative. Le couple ne doit pas être inférieur à 95 % de la valeur spécifiée.

5.4.1.4 *Essai de balayage de la vitesse à couple maximal*

La caractéristique de couple doit être balayée en montant et en descendant la plage de vitesse, la référence de couple étant à sa valeur maximale, tant en traction qu'en freinage si ce dernier fonctionnement est prévu. Aucun déclenchement arrêtant le système ne doit être observé. Le taux de variation de la vitesse doit être approprié à chaque application.

NOTES

- 1 Subclause 3.3 states that "the torque characteristics shall be drawn for the maximum torque reference".
- 2 For paralleled motors, additional tests may be required according to 5.2.5.

The limits of error of the measurements shall not be greater than:

- ±2 % of the maximum mechanical torque reference at the speed considered;
- ±1 % for the mean values of the d.c. voltage current and power;
- ±2 % for a.c. values.

As for the temperature-rise test, the motor(s) may be deemed to have passed the torque characteristics tests of IEC 349-2, provided the torque characteristics measured at the combined system test meet the requirements of this standard. This remains valid, even if the electric parameters are not exactly those agreed upon between the supplier and the manufacturer.

Temperature is an important parameter, especially for asynchronous drives, which influences the output torque to a level dependant on the control performance. The measurement of the torque characteristics gives the opportunity to check the influence of heating on the output torque.

5.4.1.2 *Torque characteristics, motor hot*

The torque characteristics shall be measured at the end of the temperature-rise test performed according to 5.3, which is likely to produce the maximum temperature rise of the rotor cage of an asynchronous motor, or the maximum temperature rise of the stator windings of a synchronous motor, in order to obtain the characteristics of the combined system at that temperature. Measurements shall be performed quickly, and shall begin with the lowest speed achievable on the test bed (point 1 of figures 3 to 6). It is not necessary to plot many points. Figures 3 to 6 give examples of the number of points needed.

Tolerances: the declared torque at any speed on the specified characteristic between the values corresponding to the maximum torque and 90 % of the maximum speed shall be not less than 95 % of the specified value.

5.4.1.3 *Torque characteristics, motor cold*

The motor being cold, according to IEC 349-2, clause A.1, the torque shall be measured at the same lowest speed for which it has already been measured motor hot (point 1 of figures 3 to 6). Measurements shall be carried out quickly, and temperatures shall be measured at the end of the test to ensure that the temperature has not varied significantly. The torque shall not be less than 95 % of the specified value.

5.4.1.4 *Sweeping speed test at full torque*

The torque characteristic shall be swept up and down over all the speed range, the torque reference being at its maximum value, both in motoring and braking if relevant. No tripping, shutting down the system, shall be observed. The rate of change in speed shall be appropriate to each application.

5.4.2 *Caractéristiques de rendement du système combiné (caractéristiques de pertes)*

Si des mesures de pertes sont exigées, elles doivent être effectuées à la fin de l'essai d'échauffement tel qu'il est décrit en 5.3. Elles doivent être déduites de la mesure de la puissance d'entrée en courant continu et de la puissance mécanique de sortie. Un petit nombre de points de mesure est généralement convenable.

Les limites de l'erreur de mesure de la puissance d'entrée en courant continu ne doivent pas être supérieures à $\pm 0,6$ %, le dispositif de mesure du couple doit avoir une précision de $\pm 0,25$ % du couple maximal de référence à la vitesse considérée et le dispositif de mesure de la vitesse doit avoir une précision de $\pm 0,1$ %. La valeur de ces précisions peut être modifiée par accord entre exploitant et constructeur. Les limites d'erreur utilisées, ainsi que la tolérance qui en résulte sur le rendement doivent être représentées sur la caractéristique de rendement.

Les méthodes de récupération ou de sommation des pertes mentionnées en 5.2.4 peuvent être utilisées si un accord a été conclu entre exploitant et constructeur.

5.5 *Essais divers*

5.5.1 *Essais des systèmes de protection*

5.5.1.1 *Alimentation de l'équipement de régulation du système combiné*

Le système combiné doit fonctionner avec n'importe quelle variation de l'alimentation comprise dans la plage spécifiée, sans aucune interruption du système ou indication de défaut. La perte d'une ou de plusieurs alimentations doit provoquer l'arrêt de l'onduleur sans aucun défaut ou fonctionnement défectueux du système combiné. Le système doit être capable de redémarrer de manière contrôlée lorsque les alimentations de la régulation sont rétablies.

5.5.1.2 *Source de puissance de courant continu*

On doit vérifier, en faisant varier la source de tension continue du minimum au maximum de la plage de fonctionnement spécifiée du système combiné, que le système de régulation fonctionne correctement et que la sortie du système combiné est régulée et inhibée suivant la courbe acceptée. La figure 9 montre un exemple de la plage de fonctionnement d'un système combiné à source de tension.

5.5.1.3 *Autres essais (essai d'investigation)*

Les essais du système combiné donnent l'occasion de contrôler son comportement à l'égard

- d'une interruption de courte durée de l'alimentation;
- de conditions de défauts: par exemple une perte de signal de vitesse, une perte de signal de température, etc.

Ces essais doivent faire l'objet d'un accord entre exploitant et constructeur.

5.5.2 *Harmoniques du courant d'entrée de l'onduleur (essai d'investigation)*

L'onduleur peut perturber le système de signalisation ferroviaire, le système d'alimentation de puissance ou d'autres équipements fixes ou embarqués. Cela est provoqué par la génération de courants harmoniques du côté continu de l'onduleur. Par suite, il est important de mesurer les composantes alternatives présentes dans l'entrée continue de l'onduleur pour différentes fréquences statoriques. L'information relative aux fréquences porteuses de la signalisation doit être échangée entre l'exploitant, le constructeur et les fournisseurs. On doit accorder une attention spéciale aux courants alternatifs à ces fréquences.

5.4.2 Efficiency characteristics of the combined system (loss characteristics)

If loss measurements are required, they shall be carried out at the end of the temperature-rise test as described in 5.3. They shall be derived from the measurement of the d.c. power input and of the mechanical output. A small number of points is generally adequate.

The limits of error of the measurements of the d.c. power input shall not be greater than $\pm 0,6$ %, the torque measurement device shall be accurate to within $\pm 0,25$ % of the maximum torque reference at the speed considered, and the speed measurement device shall be accurate to within $\pm 0,1$ %. These tolerances may be varied by agreement between user and manufacturer. The limits of error used, together with the resulting efficiency tolerance, shall be shown on the efficiency characteristic.

The summation of losses and back-to-back methods mentioned in 5.2.4 may be used if agreed between user and manufacturer.

5.5 Miscellaneous tests

5.5.1 Protection system testing

5.5.1.1 Power supply for control equipment of the combined system

The combined system shall operate with any variation of the supply, within the specified range, without any interruption of the system or fault indication. The loss of one or several power supplies shall cause the off-state of the inverter without any failure or malfunction in the combined system. The system shall be able to restart in a controlled manner when the control supplies are re-established.

5.5.1.2 DC power supply

A check shall be made, by varying the d.c. supply voltage from maximum to minimum of the specified operating range for the combined system, that the control system operates correctly, and that the combined system output is regulated and inhibited in accordance with the agreed curve. Figure 9 shows an example of the operating range of a voltage source combined system.

5.5.1.3 Other tests (investigation test)

The combined system test gives the opportunity to test the behaviour of the system concerning:

- short-time supply interruption;
- failure conditions: for example loss of speed signal, loss of temperature signal, etc.

These tests shall be subject to agreement between user and manufacturer.

5.5.2 Harmonics in the input current of the inverter (investigation test)

The inverter may interfere with the railway signalling system, the power supply system, or other stationary and on-board equipment. This is due to harmonic current generation on the d.c. side of the inverter. Because of this, it is important to measure the a.c. currents on the d.c. input of the inverter at different stator frequencies. Information about signalling carrier frequencies shall be exchanged between the user, the manufacturer, and the suppliers. AC currents with these frequencies shall be given special attention.

Les résultats des mesures peuvent être utilisés pour améliorer le calcul du niveau total de perturbation harmonique du véhicule en prenant en considération le nombre total d'onduleurs, la conception du filtre de ligne, etc.

NOTES

- 1 Pour les mesures, il est recommandé d'utiliser un capteur de courant de haute précision associé à un analyseur de fréquence.
- 2 Dans le cas d'un onduleur source de courant, ces mesures ne s'appliquent généralement pas.
- 3 Il est recommandé de prendre en considération les harmoniques de l'alimentation de puissance en courant continu au cours de la mesure du contenu harmonique total.

Tableau 1 – Liste des essais

Sujet	Paragraphe	Essai de type	Essai d'investigation	Duplication possible des essais avec la CEI 349-2 et la CEI 1287-1
Essais d'échauffement	5.3	X		X
Moteurs en parallèle	5.2.5	Si applicable		
Essai additionnel	5.2.5.2	Si applicable		
Caractéristiques	5.4	X		
Couple	5.4.1	X		
Caractéristiques de couple moteur chaud	5.4.1.2	X		X
Caractéristiques de couple moteur froid	5.4.1.3	X		
Balayage de la vitesse à couple maximal	5.4.1.3	X		
Caractéristiques de rendement	5.4.2	Optionnel		X
Moteurs en parallèle	5.2.5	Si applicable		X
Essai additionnel	5.2.5.2	Si applicable		X
Essais divers	5.5			
Essais des systèmes de protection	5.5.1			
Alimentation de l'équipement de régulation	5.5.1.1	X		
Source de puissance de courant continu	5.5.1.2	X		
Autres essais	5.5.1.3		X	
Harmoniques du courant d'entrée	5.5.2		X	

The measurement results may be used to improve the calculation of the total harmonic interference level from a vehicle, taking into consideration the total number of inverters, line filter design, etc.

NOTES

- 1 For the measurements, a high precision current sensor, together with a frequency analyser, should be used.
- 2 In the case of a current source inverter, these measurements are not generally relevant.
- 3 The d.c. power supply harmonics should be considered when measuring the total harmonic content.

Table 1 – List of tests

	Subclause	Type test	Investigation test	Possible duplication of test with IEC 349-2 and IEC 1287-1
Temperature-rise tests	5.3	X		X
Paralleled motors	5.2.5	If applicable		
Additional test	5.2.5.2	If applicable		
Characteristics	5.4	X		
Torque	5.4.1	X		
Torque characteristic, motor hot	5.4.1.2	X		X
Torque characteristic, motor cold	5.4.1.3	X		
Sweeping speed test at full torque	5.4.1.3	X		
Efficiency characteristic	5.4.2	Optional		X
Paralleled motors	5.2.5	If applicable		X
Additional test	5.2.5.2	If applicable		X
Miscellaneous tests	5.5			
Protection system testing	5.5.1			
Power supply for the control equipment	5.5.1.1	X		
DC power supply	5.5.1.2	X		
Other tests	5.5.1.3		X	
Harmonics in the input current	5.5.2		X	

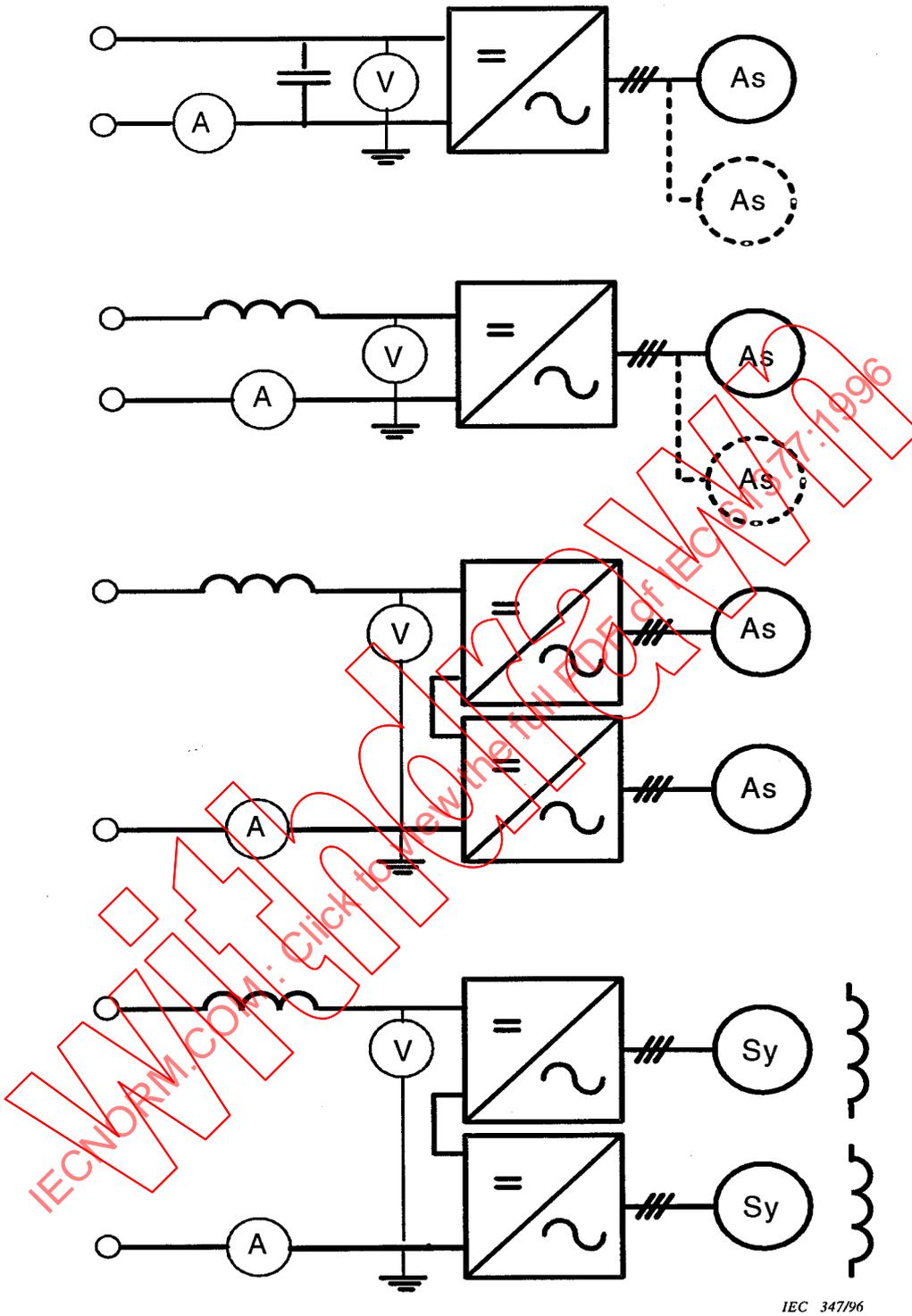
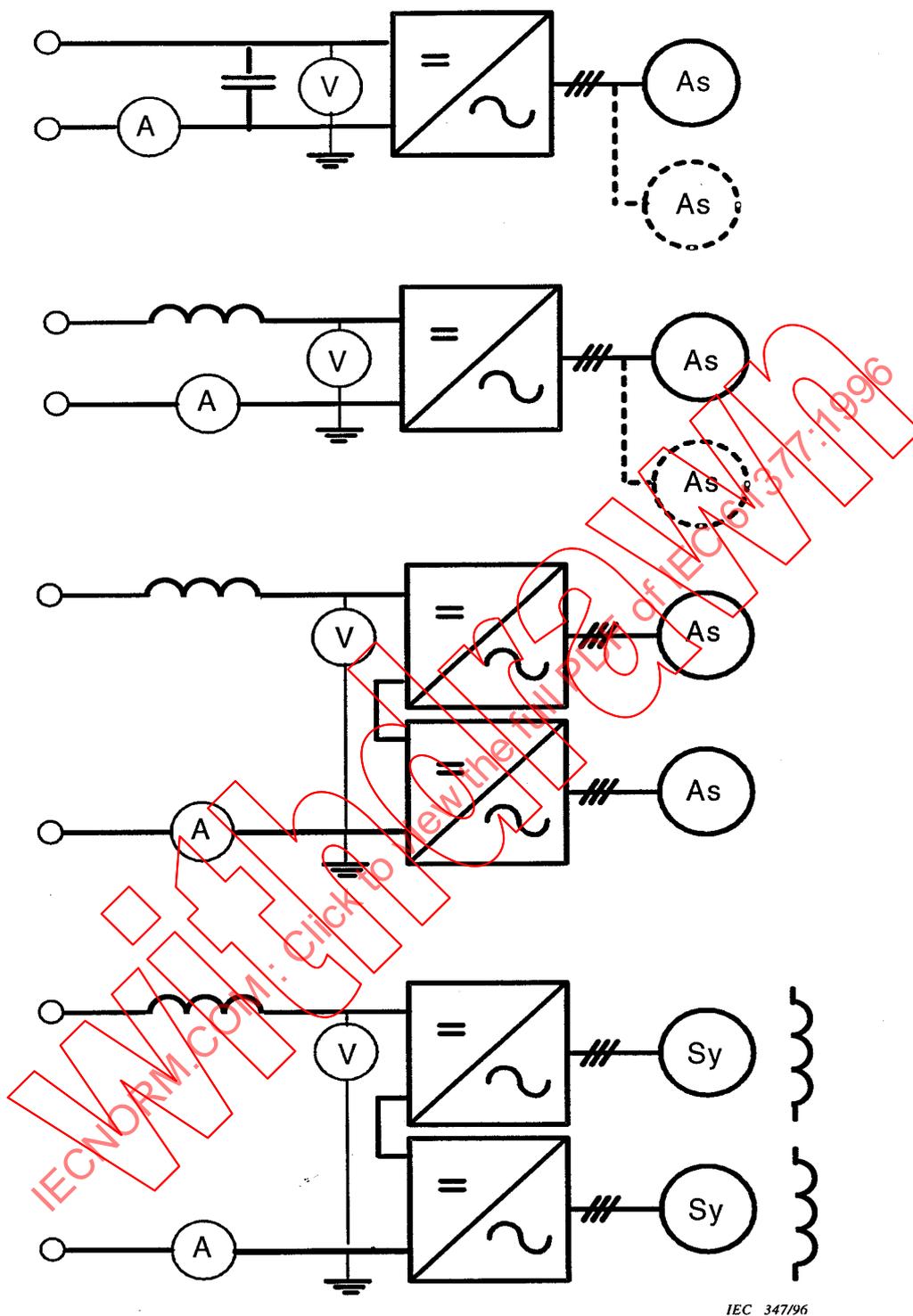
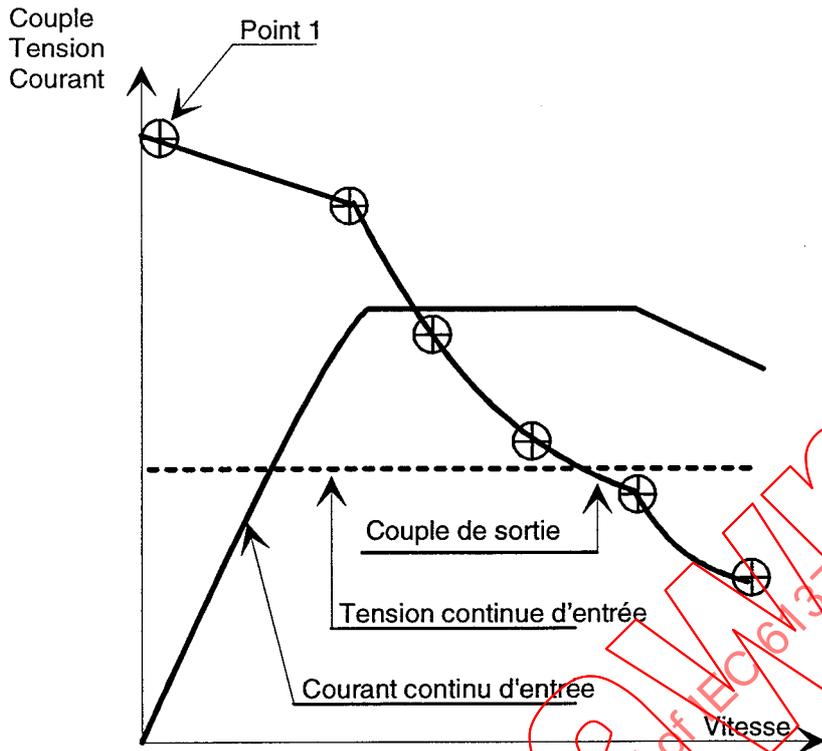


Figure 2 – Exemple de points de mesure de l'alimentation continue d'entrée

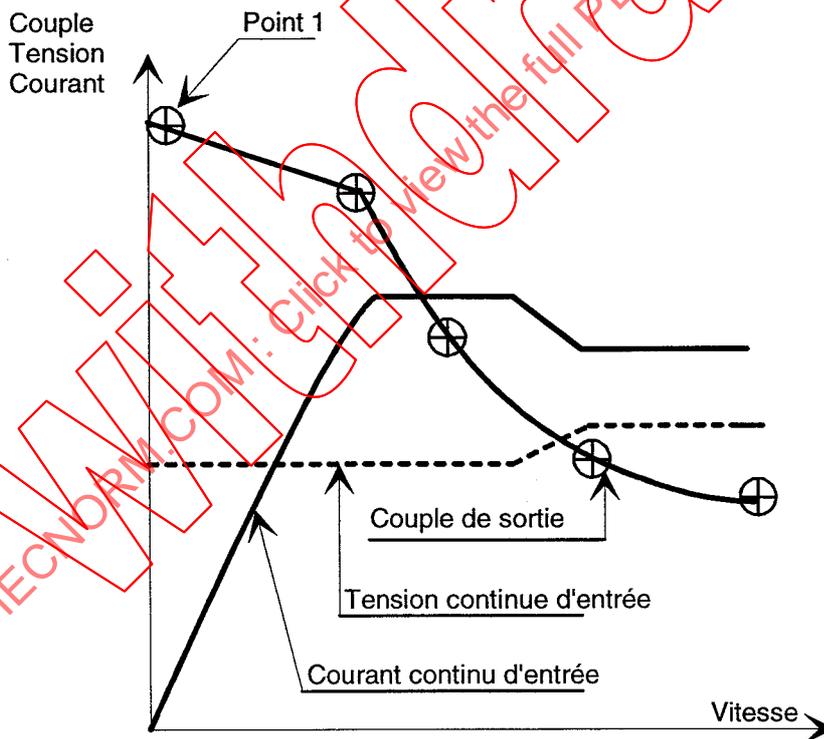


IEC 347/96

Figure 2 – Example of measurement points of the d.c. input



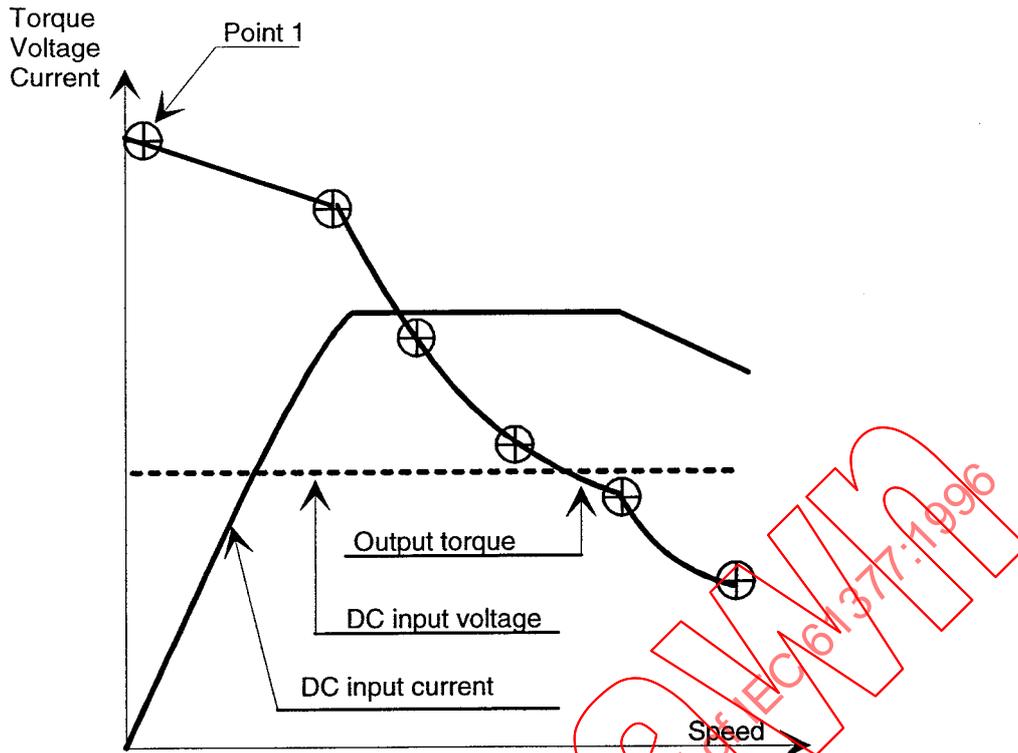
Caractéristiques d'un système combiné asynchrone à source de tension: exemple 1



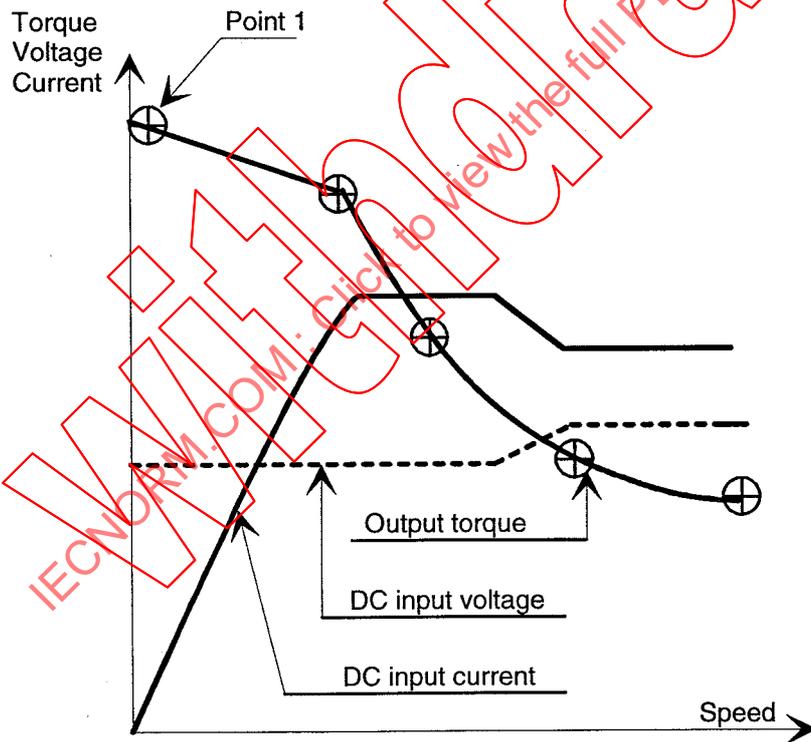
Caractéristiques d'un système combiné asynchrone à source de tension: exemple 2

IEC 348/96

Figure 3 – Caractéristiques obligatoires – système combiné asynchrone à source de tension (deux exemples)



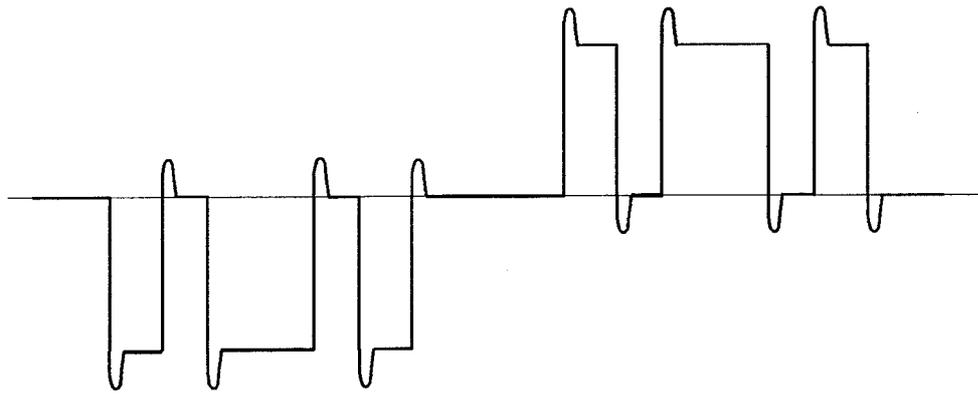
Characteristics of a voltage source asynchronous combined system: example 1



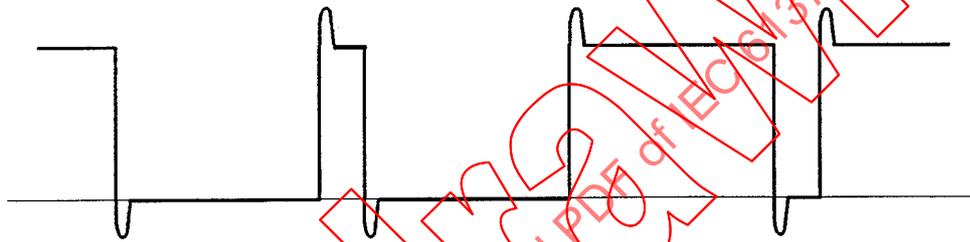
Characteristics of a voltage source asynchronous combined system: example 2

IEC 348/96

Figure 3 – Mandatory characteristics – voltage source asynchronous combined system (two examples)



Tension entre phases

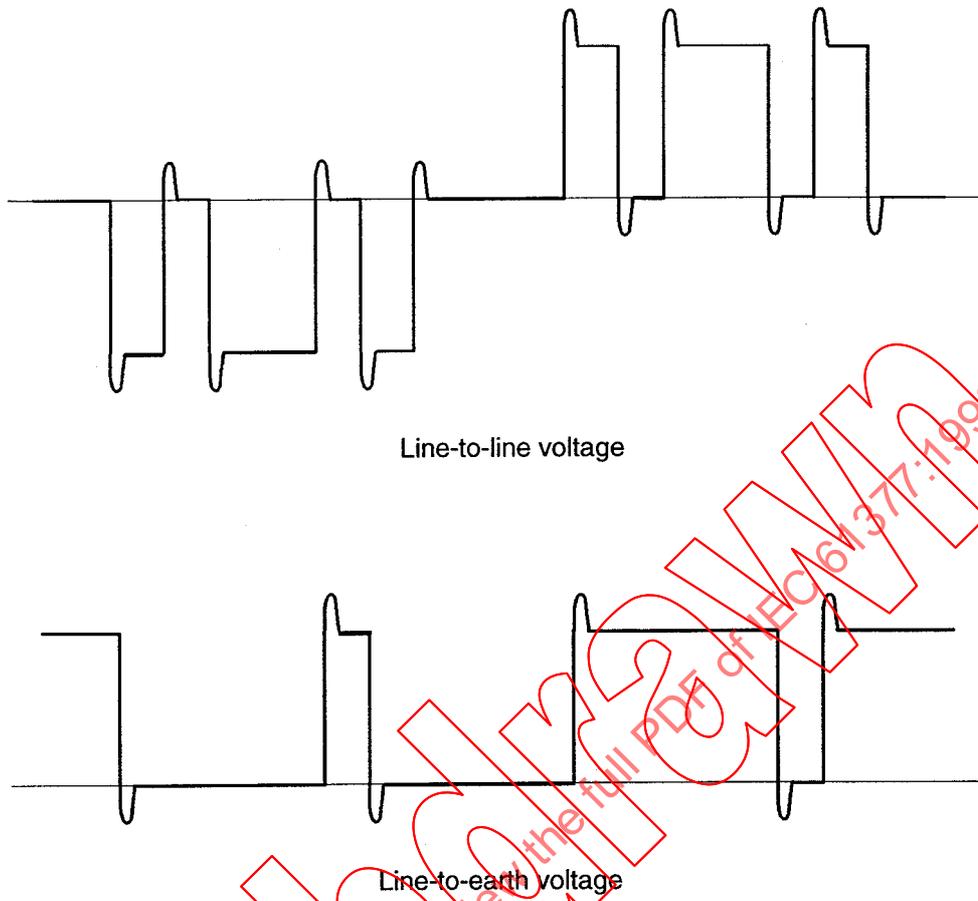


Tension entre phase et terre

IEC 349/96

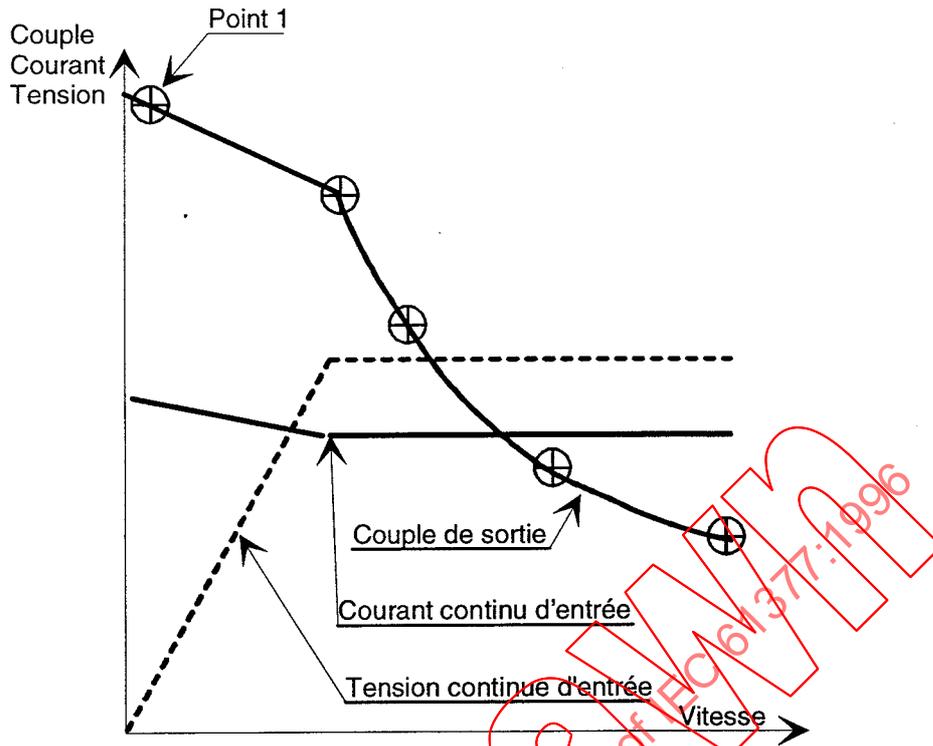
Figure 4 – Caractéristiques obligatoires – système combiné asynchrone à source de tension

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61377:1996

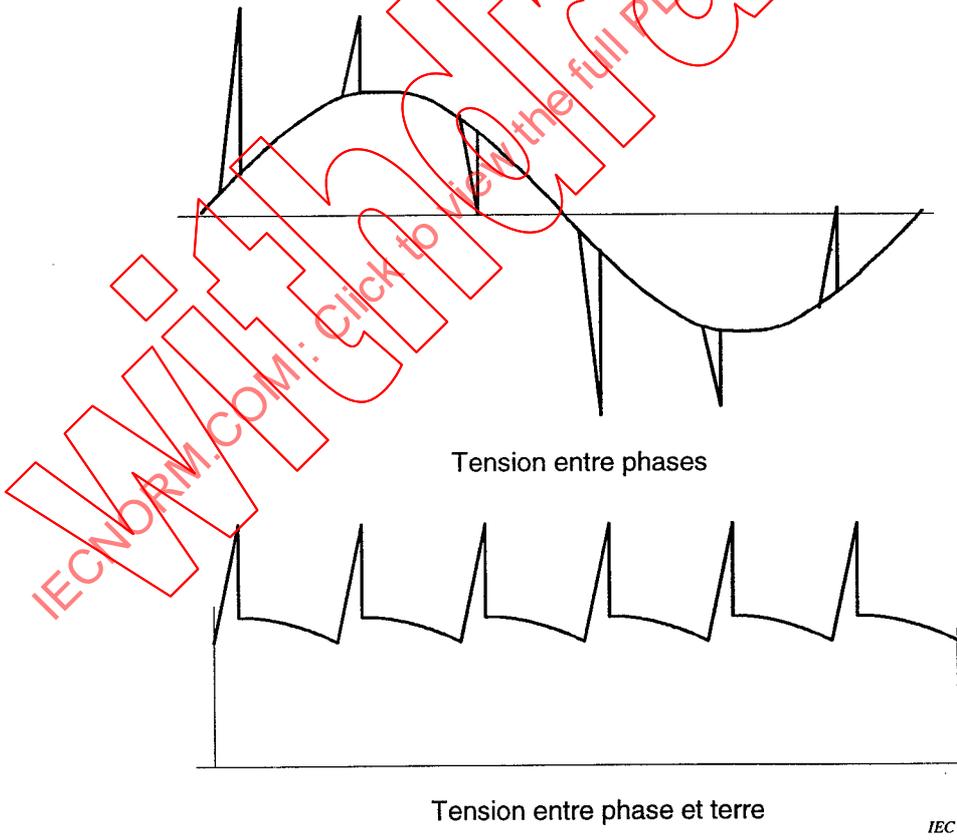


IEC 349/96

Figure 4 – Mandatory characteristics – voltage source asynchronous combined system



Caractéristiques d'un système combiné asynchrone à source de courant



IEC 350/96

Figure 5 – Caractéristiques obligatoires – système combiné asynchrone à source de courant