

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60310

Troisième édition
Third edition
2004-02

**Applications ferroviaires –
Transformateurs de traction et bobines
d'inductance à bord du matériel roulant**

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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60310:2004

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions 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.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** (www.iec.ch)
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. 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.

Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site** (www.iec.ch)
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60310

Troisième édition
Third edition
2004-02

**Applications ferroviaires –
Transformateurs de traction et bobines
d'inductance à bord du matériel roulant**

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

© IEC 2004 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.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	4
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives.....	8
3 Termes et définitions	10
3.1 Définitions relatives aux transformateurs	10
3.2 Définitions relatives aux bobines d'inductance.....	10
3.3 Définitions relatives aux inductances.....	12
4 Prises.....	14
4.1 Prise principale	14
5 Tensions assignées des enroulements d'un transformateur	14
5.1 Tension assignée côté ligne	14
5.2 Tension assignée secondaire	16
6 Puissance assignée.....	16
7 Refroidissement	16
7.1 Désignation des transformateurs et des bobines d'inductance selon le mode de refroidissement.....	16
8 Limites d'échauffement.....	18
8.1 Classification des matériaux isolants	18
8.2 Limites d'échauffement.....	20
9 Plaques signalétiques.....	22
9.1 Plaque signalétique de transformateur	22
9.2 Plaque signalétique de bobine d'inductance	22
10 Essais	24
10.1 Catégories d'essais	24
10.2 Essais des transformateurs	24
10.3 Inductances.....	42
 Annexe A (informative) Liste des points pour lesquels un accord entre l'exploitant et le constructeur est nécessaire ou pour lesquels des informations ou spécifications complémentaires doivent être données par l'exploitant ou le constructeur.....	 52
 Tableau 1 – Symboles littéraux.....	 16
Tableau 2 – Ordre des symboles	18
Tableau 3 – Limites d'échauffement (K).....	20
Tableau 4 – Liste des vérifications et des essais à effectuer sur les transformateurs de traction	26
Tableau 5 – Tolérances	26
Tableau 6 – Températures de référence	34
Tableau 7 – Tensions d'essais diélectriques des enroulements directement connectés à la ligne de contact.....	36
Tableau 8 – Tensions d'essai diélectriques U' en volts (par tension induite ou par tension de source séparée) pour les autres enroulements (valeurs efficaces)	38
Tableau 9 – Liste des vérifications et essais à effectuer sur les bobines d'inductance	42
Tableau 10 – Tolérances	42

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	9
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	11
3.1 Definitions for transformers	11
3.2 Definitions for inductors.....	11
3.3 Definitions for inductance	13
4 Tappings	15
4.1 Principal tapping	15
5 Rated voltages of transformer windings	15
5.1 Rated line-side voltage.....	15
5.2 Rated secondary voltage	17
6 Rated power	17
7 Cooling.....	17
7.1 Identification of transformers and inductors according to cooling method.....	17
8 Limits of temperature rise	19
8.1 Classification of insulating materials.....	19
8.2 Limits of temperature-rise.....	21
9 Rating plates	23
9.1 Transformer rating plate	23
9.2 Inductor rating plate	23
10 Tests	25
10.1 Categories of tests	25
10.2 Tests on transformers	25
10.3 Tests on inductors.....	43
 Annex A (informative) List of items for which an agreement between user and manufacturer is needed or for which further information or specifications shall be given by the user or by the manufacturer	 53
 Table 1 – Letter symbols.....	 17
Table 2 – Order of symbols.....	19
Table 3 – Limits of temperature-rise (K).....	21
Table 4 – List of checks and tests to be made on traction transformers.....	27
Table 5 – Tolerances	27
Table 6 – Reference temperatures	35
Table 7 – Dielectric test voltages for windings directly connected to the contact line.....	37
Table 8 – Dielectric test voltage U' in volts (induced voltage or separate source voltage withstand test) for other windings (r.m.s.)	39
Table 9 – List of checks and tests to be made on inductors.....	43
Table 10 – Tolerances	43

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPLICATIONS FERROVIAIRES – TRANSFORMATEURS DE TRACTION ET BOBINES D'INDUCTANCE À BORD DU MATÉRIEL ROULANT

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60310 a été établie par le comité d'études 9 de la CEI: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 1991, dont elle constitue une révision technique. Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente: elle tient compte des nouvelles normes génériques ferroviaires, en particulier en ce qui concerne les conditions générales de service et les considérations de chocs et vibrations en faisant référence à la CEI 60077-1 et à la CEI 61373.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RAILWAY APPLICATIONS –
TRACTION TRANSFORMERS AND INDUCTORS
ON BOARD ROLLING STOCK**

FOREWORD

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

International Standard IEC 60310 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways.

This third edition cancels and replaces the second edition issued in 1991 and constitutes a technical revision. This edition includes the following significant technical changes from the previous edition: it takes into account the new generic railway standards, more specifically general service conditions and shock and vibration considerations, referring to IEC 60077-1 and IEC 61373.

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

FDIS	Report on voting
9/780/FDIS	9/784/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 2009. At this date, the publication will be

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

APPLICATIONS FERROVIAIRES – TRANSFORMATEURS DE TRACTION ET BOBINES D'INDUCTANCE À BORD DU MATÉRIEL ROULANT

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique aux transformateurs de traction à bord des matériels roulants et aux divers types de bobines d'inductances insérées dans les circuits de puissance ou auxiliaires des véhicules à moteurs électriques.

NOTE 1 Le terme «bobine d'inductance» est utilisé dans la présente norme avec la signification du terme anglais «reactor» dans la CEI 60050(421), la CEI 60050(811) et la CEI 60289.

Les bobines d'inductance mentionnées au premier alinéa peuvent être:

- des bobines d'inductance de filtrage;
- des bobines d'inductance de lissage;
- des bobines d'inductance de commutation;
- des bobines d'inductance de protection des convertisseurs statiques de puissance;
- les shunts inductifs des moteurs de traction;
- des bobines d'inductance utilisées pour les transitions entre crans des graduateurs;
- des bobines d'inductance des circuits de freinage;
- des bobines d'inductance d'antiparasitage.

NOTE 2 Les prescriptions de la CEI 60076 sont applicables aux transformateurs de traction dans la mesure où elles ne sont pas en contradiction avec la présente norme ou avec les publications CEI spécialisées traitant des applications de traction.

NOTE 3 Pour les transformateurs et les bobines d'inductance des convertisseurs statiques de puissance, il convient de se reporter également à la CEI 61287.

La présente norme peut également être appliquée, après accord entre exploitant et constructeur, aux transformateurs de traction des véhicules à courant alternatif triphasé côté ligne et aux transformateurs insérés dans les circuits auxiliaires monophasés ou polyphasés des véhicules, exception faite des transformateurs de mesure et des transformateurs de puissance assignée inférieure à 1 kVA en monophasé ou à 5 kVA en polyphasé.

La présente norme ne couvre pas les accessoires tels que graduateurs, résistances, échangeurs de chaleur, ventilateurs, etc., destinés à être montés sur les transformateurs ou les bobines d'inductance et qui doivent être essayés séparément suivant les règles les concernant.

Lorsque les graduateurs font partie intégrante des transformateurs, ils ne peuvent en être séparés lorsqu'on essaie ces derniers.

Pour les conditions de service, se référer à la CEI 60077-1, Article 7.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RAILWAY APPLICATIONS –
TRACTION TRANSFORMERS AND INDUCTORS
ON BOARD ROLLING STOCK****1 Scope**

This International Standard applies to traction transformers installed on board rolling stock and to the various types of inductors inserted in the power and auxiliary circuits of electric vehicles.

NOTE 1 The term “inductor” is used in this standard with the same meaning as the term “reactor” mentioned in IEC 60050(421), IEC 60050(811) and IEC 60289.

The inductors mentioned in the first paragraph may be:

- filter inductors;
- smoothing inductors;
- commutation inductors;
- protection inductors in static power converters;
- inductive shunts for traction motors;
- inductors used for transition between tap changer notches;
- braking circuit inductors;
- interference suppression inductors.

NOTE 2 The requirements of IEC 60076 are applicable to traction transformers where they do not conflict with this standard, or with the specialized IEC publications dealing with traction applications.

NOTE 3 For transformers and inductors for static power converters, reference should also be made to IEC 61287.

This standard can also be applied, after agreement between user and manufacturer, to the traction transformers of three-phase a.c. line-side powered vehicles and to the transformers inserted in the single-phase or polyphase auxiliary circuits of vehicles, except for instrument transformers and transformers of a rated output below 1 kVA single-phase or 5 kVA polyphase.

This standard does not cover accessories such as tap changers, resistors, heat exchangers, fans, etc., intended for mounting on the transformers or inductors, which shall be tested separately according to relevant rules.

When tap changers are an integral part of the transformers, they cannot be separated while the latter are tested.

For service conditions, refer to IEC 60077-1, Clause 7.

2 Normative references

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

CEI 60076-1:1993, *Transformateurs de puissance – Partie 1: Généralités*

CEI 60076-2:1993, *Transformateurs de puissance – Partie 2: Echauffement*

CEI 60076-3:2000, *Transformateurs de puissance – Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air*

CEI 60076-5:2000, *Transformateurs de puissance – Partie 5: Tenue au court-circuit*

CEI 60077-1:1999, *Applications ferroviaires – Equipements électriques du matériel roulant – Partie 1: Conditions générales de service et règles générales*

CEI 60085:1984, *Evaluation et classification thermiques de l'isolation électrique*

CEI 60289:1988, *Bobines d'inductance*

CEI 60850:2000, *Applications ferroviaires – Tensions d'alimentation des systèmes de traction*

CEI 61133:1992, *Traction électrique – Matériel roulant – Méthodes d'essai des véhicules ferroviaires électriques et thermo-électriques après achèvement et avant mise en service*

CEI 61287-1:1995, *Convertisseurs de puissance embarqués sur le matériel roulant ferroviaire – Partie 1: Caractéristiques et méthodes d'essai*

CEI 61373:1999, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais de chocs et vibrations*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de la CEI 60076 et de la CEI 60289, ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1 Définitions relatives aux transformateurs

3.1.1

classification des transformateurs

selon les dispositions prévues pour le réglage en charge de la tension secondaire d'alimentation des circuits de traction, les transformateurs de traction peuvent être classés en:

- transformateurs à rapport fixe;
- transformateurs à réglage basse tension;
- transformateurs à réglage haute tension.

3.2 Définitions relatives aux bobines d'inductance

3.2.1

classification des bobines d'inductance

selon leur utilisation, les bobines d'inductance peuvent être classées comme suit:

- *Bobines d'inductance à courant alternatif*

Bobines d'inductance traversées par des courants alternatifs, telles que les bobines d'inductance de transition entre prises de gradateurs, les bobines d'inductance des circuits de freinage des moteurs à courant alternatif à collecteur, les bobines d'inductance d'antiparasitage, etc.

IEC 60076-1:1993, *Power transformers – Part 1: General*

IEC 60076-2:1993, *Power transformers – Part 2: Temperature rise*

IEC 60076-3:2000, *Power transformers – Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air*

IEC 60076-5:2000, *Power transformers – Part 5: Ability to withstand short circuit*

IEC 60077-1:1999, *Railway applications – Electric equipment for rolling stock – Part 1: General service conditions and general rules*

IEC 60085:1984, *Thermal evaluation and classification of electrical insulation*

IEC 60289:1988, *Reactors*

IEC 60850:2000, *Railway applications – Supply voltage of traction systems*

IEC 61133:1992, *Electric traction – Rolling stock – Test methods for electric and thermal/electric rolling stock on completion of construction and before entry into service*

IEC 61287-1:1995, *Power convertors installed on board rolling stock – Part 1: Characteristics and test methods*

IEC 61373:1999, *Railway applications – Rolling stock equipment – Shock and vibration tests*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60076 and IEC 60289 together with the following definitions apply.

3.1 Definitions for transformers

3.1.1

classification of transformers

depending on arrangements made for on-load variation of the secondary voltage of the traction circuits, traction transformers can be classified as:

- fixed ratio transformers;
- transformers with low-voltage tapping;
- transformers with high-voltage tapping.

3.2 Definitions for inductors

3.2.1

classification of inductors

according to their utilisation, inductors can be classified as follows:

- *Inductors for alternating current*

Inductors that carry alternating current, such as transition inductors used for transition between tappings of tap changers, inductors for a.c. commutator motor braking circuits, interference suppression inductors, etc.

– *Bobines d'inductance à courant continu*

Bobines d'inductance traversées par des courants continus avec une composante alternative faible ou négligeable, telles que les bobines d'inductance de filtrage en courant continu, les shunts inductifs de moteurs de traction, les bobines d'inductance de circuits de freinage en courant continu, etc.

– *Bobines d'inductance à courant pulsatoire*

Bobines d'inductance traversées par des courants continus présentant une ondulation périodique notable, telles les bobines d'inductance de lissage de moteurs de traction, etc.

– *Bobines d'inductance de convertisseur*

Bobines d'inductance insérées dans les convertisseurs de puissance pour assurer la commutation, la protection ou le filtrage.

3.3 Définitions relatives aux inductances

Les valeurs de l'inductance des bobines d'inductance dépendent des différentes catégories d'utilisation et sont définies comme suit, étant entendu qu'elles doivent comporter l'indication de la nature et de la valeur du courant utilisé pour leur mesure.

3.3.1

inductance en courant alternatif

se déduit de la mesure du courant alternatif traversant la bobine d'inductance alimentée par une tension alternative sinusoïdale de valeur et de fréquence spécifiées

3.3.2

inductance transitoire

se déduit du relevé oscilloscopique du courant dans l'inductance ou de la mesure de la variation du flux magnétique; par exemple, les essais pourraient être effectués en courant continu, en opérant soit par fermeture brusque du circuit, soit par mise en court-circuit brusque de l'inductance

3.3.3

inductance en courant pulsatoire

se déduit d'un relevé de la tension aux bornes de l'inductance traversée par un courant pulsatoire spécifié

NOTE Il convient de mentionner que le taux d'ondulation d'un courant pulsatoire, exprimé en pourcentage, est défini par convention par la formule:

$$\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \times 100$$

dans laquelle I_{\max} et I_{\min} représentent respectivement la valeur maximale et la valeur minimale de l'onde de courant.

3.3.4

valeurs assignées des bobines d'inductance

les valeurs assignées et les conditions d'exploitation (courant, tension, fréquence, durée, cycle de service, ventilation, etc.) doivent soit être garanties par le constructeur, soit soumises par celui-ci à l'accord de l'exploitant avant l'exécution des essais

3.3.5

tension assignée U_N

tension à la fréquence assignée, assignée pour être appliquée aux bornes d'un bobinage

– *Inductors for direct current*

Inductors that carry direct current with small or negligible a.c. components, such as d.c. filter inductors, inductive shunts for traction motors, inductors for d.c. motor braking circuits, etc.

– *Inductors for pulsating current*

Inductors that carry direct current with a significant periodic ripple, such as smoothing inductors for traction motors, etc.

– *Inductors for convertors*

Inductors inserted inside electronic power convertors for purposes of commutation, protection or filtering.

3.3 Definitions for inductance

Values of inductance for inductors are related to the different classes of utilisation and are defined as follows, with the understanding that they shall include an indication of the nature and value of the current used in their measurement.

3.3.1

a.c. inductance

derived from the measurement of the alternating current carried by the inductor when it is supplied by a sinusoidal alternating voltage of specified value and frequency

3.3.2

transient inductance

derived from the oscillographic record of current in the inductor or from the measurement of the variation of magnetic flux; for example, the test could be carried out with direct current either by means of a sudden closing of the circuit or by a sudden short-circuiting of the inductor

3.3.3

incremental inductance

derived from a record of the terminal voltage when a specified pulsating current is passing through the inductor

NOTE It should be mentioned that the ripple factor of a pulsating current, expressed as a percentage, is conventionally defined by the formula:

$$\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \times 100$$

where I_{\max} and I_{\min} respectively represent the maximum and minimum values of the current wave.

3.3.4

rated values of inductors

the rated values and service conditions (current, voltage, frequency, duration, duty cycle, ventilation, etc.) shall be either guaranteed by the manufacturer, or submitted by the manufacturer for the agreement of the user, before execution of the tests

3.3.5

rated voltage U_N

the voltage at rated frequency assigned to be applied between the line terminals of a winding

3.3.6

tension maximale de fonctionnement U_{\max}

tension la plus élevée à la fréquence assignée à laquelle la bobine d'inductance doit être capable de fonctionner de manière continue sans dépasser les échauffements spécifiés

3.3.7

tension assignée d'isolement U_{Nm}

tension à la fréquence assignée, assignée pour être appliquée entre l'une des bornes de la bobine et n'importe quel circuit ou partie conductrice extérieure au bobinage

3.3.8

puissance assignée Q_N

puissance réactive spécifiée pour le fonctionnement à la tension et à la fréquence assignées

3.3.9

courant assigné I_N

courant de la bobine d'inductance déduit de la puissance assignée et de la tension assignée

4 Prises

En vue de permettre de modifier le rapport de transformation du transformateur, un ou plusieurs de ses enroulements peuvent être munis de prises intermédiaires qui doivent être indiquées sur le schéma et dans la spécification en précisant leurs caractéristiques limites d'utilisation.

4.1 Prise principale

La prise principale est celle qui permet d'obtenir aux bornes des moteurs de traction la tension assignée de ces moteurs lorsqu'ils absorbent leur courant assigné, l'enroulement côté ligne du transformateur étant alimenté sous sa tension assignée et à la fréquence assignée.

Lorsque des prises intermédiaires sont placées à la fois sur les enroulements côté ligne et sur les enroulements de traction, les prises principales doivent être indiquées.

Pour les véhicules à moteurs polycourant, les prises principales peuvent être différentes pour chaque système d'alimentation.

Le rapport de transformation à vide doit être défini pour la prise principale et pour les autres prises.

5 Tensions assignées des enroulements d'un transformateur

5.1 Tension assignée côté ligne

La tension assignée côté ligne est la valeur efficace de la tension applicable à l'ensemble de l'enroulement côté ligne dans les conditions normales de fonctionnement. Si cet enroulement est muni de prises, la tension assignée doit se référer à la prise principale.

Sauf accord particulier entre exploitant et constructeur, la tension assignée côté ligne est spécifiée comme étant égale à la tension nominale du réseau.

NOTE La CEI 60850 donne la liste des tensions nominales des réseaux de traction.

3.3.6**maximum operating voltage U_{\max}**

the highest voltage at rated frequency at which the inductor shall be capable of operating continuously without exceeding the specified temperature rises

3.3.7**rated insulation voltage U_{Nm}**

the voltage at rated frequency assigned to be applied between either terminal of a winding and any other circuit or conductive part external to the winding

3.3.8**rated power Q_N**

the reactive power specified for operation at rated voltage and frequency

3.3.9**rated current I_N**

the current of the inductor derived from rated power and rated voltage.

4 Tappings

In order to permit variation of the voltage ratio of the transformer, one or more of its windings may be equipped with intermediate tappings, which shall be indicated on the diagram and in the specification, with a statement of their maximum operating characteristics.

4.1 Principal tapping

The principal tapping is that which enables the rated traction motor voltage to be obtained at the terminals of the motors when they are taking their rated current, the transformer line-side winding being supplied at rated voltage and frequency.

When both line-side windings and traction windings have intermediate tappings, the principal tappings shall be indicated.

For multi-system vehicles, the principal tappings may be different for each system.

The no-load voltage ratio shall be defined for the principal tapping and for other tappings.

5 Rated voltages of transformer windings**5.1 Rated line-side voltage**

The rated line-side voltage is the r.m.s. voltage applicable in normal operating conditions to the line-side winding group. If this winding has tappings, the rated voltage shall be referred to the principal tapping.

Unless otherwise agreed between user and manufacturer, the rated line-side voltage is specified as being equal to the nominal voltage of the traction system.

NOTE IEC 60850 gives the list of the nominal voltages of traction systems.

5.2 Tension assignée secondaire

La tension assignée d'un enroulement secondaire d'un transformateur est la valeur efficace de la tension à vide aux bornes de l'enroulement lorsque la prise principale de l'enroulement côté ligne du transformateur est alimentée en tension et fréquence assignées.

6 Puissance assignée

Les transformateurs de traction comportent en général plusieurs enroulements secondaires (par exemple traction, auxiliaires, chauffage du train). La spécification du transformateur doit indiquer la puissance assignée de chacun de ses enroulements, exprimée en kilovoltampères, et définie comme étant le produit de la tension assignée de cet enroulement par son courant assigné.

Le régime assigné d'un transformateur est son régime continu.

Le courant assigné d'un enroulement est le courant que cet enroulement peut supporter en régime permanent sans que son échauffement dépasse la limite indiquée à l'Article 8. Pour un enroulement de traction, le courant assigné doit correspondre à la prise principale. Cette définition du courant assigné s'applique dans l'hypothèse où les autres enroulements normalement chargés fournissent leur charge assignée.

NOTE La puissance assignée de l'enroulement côté ligne d'un transformateur peut être inférieure à la somme des puissances assignées des divers enroulements secondaires; cela est admissible par exemple pour le transformateur d'un convertisseur statique avec montage à simple voie ou pour un transformateur de traction comportant un secondaire pour le chauffage du train utilisé seulement durant la saison froide.

7 Refroidissement

7.1 Désignation des transformateurs et des bobines d'inductance selon le mode de refroidissement

7.1.1 Symboles de désignation

Les transformateurs et les bobines d'inductance doivent être identifiés selon le mode de refroidissement employé. Les symboles littéraux à utiliser selon les modes de refroidissement sont donnés au Tableau 1.

Tableau 1 – Symboles littéraux

Nature de l'agent de refroidissement	Symbole
Huile minérale ou liquide isolant synthétique avec point de feu ≤ 300 °C	O
Liquide isolant synthétique avec point de feu > 300 °C	K
Liquide isolant synthétique avec point de feu supérieur à son point d'ébullition	L
Gaz	G
Eau	W
Air	A
Nature de la circulation	Symbole
Naturelle	N
Forcée (avec huile non dirigée)	F
Forcée avec huile dirigée	D

Dans les transformateurs et les bobines d'inductance avec circulation d'huile forcée et dirigée, une certaine proportion du flux d'huile forcé est canalisée pour passer à travers les enroulements. Cependant, certains enroulements peuvent avoir une circulation forcée non dirigée, par exemple les enroulements de réglage à prises séparées, les enroulements auxiliaires et les enroulements de stabilisation.

5.2 Rated secondary voltage

The rated voltage of a secondary winding of a transformer is the r.m.s. no-load voltage at the terminals of the winding when the principal tapping of the line-side winding of the transformer is fed at its rated voltage and frequency.

6 Rated power

Traction transformers usually have several secondary windings (e.g. traction, auxiliaries, train heating). The specification of the transformer shall indicate the rated power, in kilovolt-amperes, of each winding defined as the product of the rated voltage of this winding and its rated current.

The rating of a transformer is referred to a continuous duty.

The rated current of a winding is the current this winding can sustain permanently without exceeding the temperature-rise limit stated in Clause 8. For a traction winding, the rated current shall correspond to the principal tapping. This definition of rated current applies when other windings, which are normally on load, deliver their rated loads.

NOTE The rated power of the line-side winding of a transformer can be less than the sum of the rated powers of its various secondary windings; this is permissible, for example, for the transformer of a single way connected static converter or for a traction transformer having a secondary for train heating which is only used during the cold season.

7 Cooling

7.1 Identification of transformers and inductors according to cooling method

7.1.1 Identification symbols

Transformers and inductors shall be identified according to the cooling method employed. Letter symbols for use in connection with each cooling method shall be as given in Table 1.

Table 1 – Letter symbols

Kind of cooling medium	Symbol
Mineral oil or synthetic insulating liquid with fire-point ≤ 300 °C	O
Synthetic insulating liquid with fire-point > 300 °C	K
Synthetic insulating liquid having a fire-point greater than its boiling-point	L
Gas	G
Water	W
Air	A
Kind of circulation	Symbol
Natural	N
Forced (non-directed oil)	F
Forced-directed oil	D

In transformers and inductors with forced-directed oil circulation, a certain proportion of the forced-oil flow is channelled so as to pass through the windings. Some windings, however, may have a non-directed oil flow, for instance separate tapping windings, auxiliary windings and stabilizing windings.

7.1.2 Disposition des symboles

7.1.2.1 Transformateurs et bobines d'inductance enveloppés

Les transformateurs et bobines d'inductance doivent être désignés par des symboles comportant quatre lettres pour chacun des modes de refroidissement pour lequel un régime assigné est spécifié par le constructeur.

L'ordre dans lequel les symboles doivent être utilisés est donné dans le Tableau 2. Des traits obliques doivent être utilisés pour séparer les groupes de symboles caractérisant différents modes de refroidissement.

Tableau 2 – Ordre des symboles

1 ^{ère} lettre	2 ^{ème} lettre	3 ^{ème} lettre	4 ^{ème} lettre
Désigne l'agent de refroidissement en contact avec l'enroulement		Désigne l'agent de refroidissement en contact avec le système de refroidissement extérieur	
Nature de l'agent de refroidissement	Nature de la circulation	Nature de l'agent de refroidissement	Nature de la circulation

Par exemple, un transformateur immergé dans l'huile avec circulation d'huile forcée et dirigée et circulation forcée d'air sera désigné par ODAF.

Pour les transformateurs immergés dans l'huile pour lesquels existe la possibilité de circulation naturelle ou forcée avec flux d'huile non dirigé, les désignations type sont: ONAN/ONAF, ONAN/OFAF.

Pour un transformateur du type sec muni d'une enveloppe de protection non ventilée et à refroidissement naturel par air à l'intérieur et à l'extérieur de l'enveloppe, la désignation est: ANAN.

7.1.2.2 Transformateurs et bobines d'inductance non enveloppés

Les transformateurs et les bobines d'inductance de type sec sans enveloppe de protection sont désignés par deux symboles seulement pour l'agent de refroidissement qui est en contact avec les enroulements ou avec la surface de l'enrobage dans le cas d'enroulements enrobés (par exemple résine époxy) .

Le mode de refroidissement d'un transformateur sec sans enveloppe de protection ou avec une enveloppe ventilée et à refroidissement naturel par air est désigné par AN.

7.1.3 Refroidissement par air

Lorsque les transformateurs ou les bobines d'inductance sont refroidis par le courant d'air provoqué par le déplacement du véhicule, ou par un dispositif de ventilation forcée non essayé avec le transformateur ou la bobine d'inductance, le débit (ou la vitesse) d'air sur lequel le régime assigné de l'appareil est basé doit être indiqué par l'exploitant.

8 Limites d'échauffement

8.1 Classification des matériaux isolants

Les différentes classes d'isolants solides actuellement utilisés pour les enroulements des transformateurs et des bobines d'inductance auxquels s'applique la présente norme sont indiquées par le Tableau 3. Elles sont définies dans la CEI 60085.

7.1.2 Arrangement of symbols

7.1.2.1 Enclosed transformers and inductors

Transformers and inductors shall be identified by symbols of four letters for each cooling method for which a rating is specified by the manufacturer.

The order in which the symbols shall be used is given in Table 2. Oblique strokes shall be used to separate the group symbols for different cooling methods.

Table 2 – Order of symbols

1 st letter	2 nd letter	3 rd letter	4 th letter
Indicating the cooling medium that is in contact with the winding		Indicating the cooling medium that is in contact with the external cooling system	
Type of cooling medium	Type of circulation	Type of cooling medium	Type of circulation

For example, an oil-immersed transformer with forced-directed oil circulation and forced-air circulation would be designated by ODAF.

For oil-immersed transformers in which the alternatives of natural or forced cooling with non-directed oil flow are possible, typical designations are: ONAN/ONAF, ONAN/OFAF.

For a dry-type transformer in a non-ventilated protective enclosure with natural air cooling inside and outside the enclosure, the designation is: ANAN.

7.1.2.2 Non-enclosed transformers and inductors

Dry-type transformers and inductors without protective enclosures are identified by two symbols only for the cooling medium that is in contact with the windings or the surface coating of windings with an overall coating (e.g. epoxy resin).

The cooling method of a dry-type transformer without a protective enclosure or with a ventilated enclosure and with natural air cooling is designated by: AN.

7.1.3 Air cooling

When transformers or inductors are cooled by the draught of air caused by the motion of the vehicle or by a forced-air cooling system which is not tested with the transformer or inductor, the air flow (or velocity) on which the rated power of the equipment is based shall be indicated by the user.

8 Limits of temperature rise

8.1 Classification of insulating materials

The different classes of solid materials used at present for the insulation of the windings of transformers and inductors to which this standard applies are listed in Table 3. They are defined in IEC 60085.

La classe thermique des matériaux solides utilisés pour l'isolation des enroulements d'un transformateur ou d'une bobine d'inductance du type sec refroidi par air ou par gaz doit être indiquée par le constructeur.

8.2 Limites d'échauffement

Les échauffements par rapport à l'air ambiant des organes des transformateurs et des bobines d'inductance soumis aux essais d'échauffement ne doivent pas dépasser les valeurs données dans le Tableau 3.

Tableau 3 – Limites d'échauffement (K)

Partie de l'appareil	Classe thermique des enroulements	Echauffement		Limites d'échauffement
		Classe d'utilisation 1	Classe d'utilisation 2	
Enroulements (moyenne)	A	75	75	120
	E	95	95	135
	B	130	105	170
	F	155	130	195
	H	180	160	220
	200	200	180	240
	220	220	200	260
	250	250	230	290
Liquide O		65	65	105
Liquide K		150	150	190

NOTE Dans le cas de flux d'huile dirigé, les échauffements des enroulements peuvent être majorés de 5 K.

Pour le type O des liquides, seul l'échauffement limite de la classe thermique A est autorisé. Pour les liquides de type K, l'échauffement limite à la fois pour l'enroulement et le liquide est la valeur la plus faible donnée dans le tableau.

Des limites plus élevées peuvent être adoptées après accord entre l'exploitant et le constructeur lorsque certaines matières isolantes sont utilisées (papier stabilisé à faible hygroscopicité, papier stable à haute température, liquides isolants spéciaux, etc.).

Les limites d'échauffement pour les éléments remplis de gaz à la fois pour le gaz et les enroulements associés doivent être définies après accord entre l'exploitant et le constructeur, en tenant compte des caractéristiques du gaz utilisé. Pour les enroulements, les limites ne doivent pas dépasser les températures limites indiquées dans le tableau.

Deux possibilités sont données pour les échauffements qui correspondent à la classe de service 1 (service normal) et à la classe de service 2 (service intense). La classe de service 2 correspond aux cycles de fonctionnement lorsque les transformateurs et les bobines d'inductance sont à pleine charge pendant des durées importantes au cours de leur vie.

Les températures limites du Tableau 3 sont seulement données comme guide. Les échauffements sont les limites décisives.

NOTE 1 Les échauffements donnés pour la classe de service 1 tiennent compte du fait que les appareils de traction embarqués ne sont pas sous charge permanente et connaissent des durées importantes à charge réduite et à vide. Ceci réduit le vieillissement des matériaux isolants pris en compte dans la CEI 60085. En outre pour la classe de service 1 pour les appareils de traction embarqués, on estime qu'il est correct de fonder les échauffements sur la moyenne quotidienne maximale des températures ambiantes, qui est estimée à + 25 °C pour toutes les températures ambiantes maximales jusqu'à 50 °C. Cette limite est ramenée à 40 °C pour la classe de service 2. Pour des valeurs ambiantes maximales plus élevées, pour les deux services, les échauffements doivent être réduits de la différence au-delà des valeurs maximales indiquées (40 °C pour la classe 2 et 50 °C pour la classe 1 respectivement). «Ambiant» dans ce contexte renvoie à la valeur ambiante prise comme référence pour le refroidissement.

NOTE 2 Il convient que la puissance assignée de l'appareil corresponde à la valeur Joule du courant de charge selon le service réel. Si tel n'était pas le cas, la puissance assignée réelle sur laquelle l'essai d'échauffement est fondé peut être fixée par accord entre l'exploitant et le constructeur.

The thermal class of the solid materials used for the insulation of the windings of an air- or gas-cooled dry-type transformer or inductor shall be indicated by the manufacturer.

8.2 Limits of temperature-rise

The temperature-rises above the ambient air of the components of transformers and inductors submitted to temperature-rise tests shall not exceed the values given in Table 3.

Table 3 – Limits of temperature-rise (K)

Part of the apparatus	Thermal class of windings	Temperature-rise		Limit temperatures
		Duty class 1	Duty class 2	
Windings (average)	A	75	75	120
	E	95	95	135
	B	130	105	170
	F	155	130	195
	H	180	160	220
	200	200	180	240
	220	220	200	260
	250	250	230	290
O liquid		65	65	105
K liquid		150	150	190

NOTE For directed oil flow, the temperature-rises in windings may be increased by 5 K.

For type O liquids, the limit temperature-rise of thermal class A only is permitted. For type K liquids, the limit temperature-rise for both the winding and the liquid is the lower tabled for either.

Higher limits may be adopted by agreement between user and manufacturer when certain insulating materials are used (moisture repellent stabilized paper, thermally stabilized paper, special insulating liquids, etc.).

Temperature-rise limits for gas filled units both in gas and in the associated windings are to be defined by agreement between user and manufacturer, taking into account the characteristics of the gas used. For the windings, the limits shall not exceed the limit temperatures indicated in the Table.

Two alternatives are given for temperature-rises, corresponding to duty class 1 (normal duty) and duty class 2 (heavy duty). Duty class 2 corresponds to operating cycles where the transformers or inductors are at full load for extended periods in their life span.

Limit temperatures in Table 3 are given for guidance only. Temperature-rises are the ruling limits.

NOTE 1 The temperature-rises given for duty class 1 take into account that on board traction equipment is not continuously loaded and has considerable periods at reduced load and at no-load. This reduces the ageing of the insulation materials taken into account in IEC 60085. Moreover, for duty class 1 for on board traction equipment, it is considered correct to base the temperature-rises on the maximum daily average of ambient temperatures, which is considered to be + 25 °C for all maximum ambient temperatures up to 50 °C. This limit is reduced to 40 °C for duty class 2. For higher maximum ambient, for both duties, the temperature-rises shall be reduced by the difference in excess of the maximum values indicated (40 °C for class 2 and 50 °C for class 1 respectively). "Ambient" in this context means the ambient from which the cooling is taken.

NOTE 2 The rated power for the equipment should be related to the Joule integral of the load current according to the actual duty. Should it not correspond, the actual rated power on which the temperature-rise test is based may be fixed by agreement between user and manufacturer.

Les valeurs d'échauffement du Tableau 3 s'entendent pour des températures mesurées:

- par la méthode de variation de résistance pour calculer la température moyenne d'enroulement;
- par thermomètre (à réservoir ou électrique) pour les parties autres que les enroulements.

L'échauffement des circuits magnétiques et des autres parties des transformateurs ou des bobines d'inductance ne doit en aucun cas atteindre une valeur susceptible d'endommager ces parties ou les parties adjacentes.

Dans le cas des liquides K, le type de liquide doit recevoir l'approbation de l'acheteur.

9 Plaques signalétiques

9.1 Plaque signalétique de transformateur

Chaque transformateur doit être muni d'une plaque signalétique donnant au minimum les indications ci-dessous, sauf accord contraire entre l'exploitant et le constructeur:

- nom du constructeur;
- numéro de série attribué par le constructeur;
- date de construction;
- schéma des connexions;
- prises principales;
- puissance et tension assignées de chacun des enroulements;
- fréquence assignée;
- agent de refroidissement et type;
- volume de l'agent de refroidissement;
- désignation du mode de refroidissement;
- masse totale.

9.2 Plaque signalétique de bobine d'inductance

Chaque bobine d'inductance doit être munie d'une plaque signalétique donnant au minimum les indications ci-dessous, sauf accord entre l'acheteur et le constructeur:

- nom du constructeur;
- numéro de série attribué par le constructeur;
- type de la bobine d'inductance;
- courant assigné (valeur efficace, ou valeur moyenne de courant continu pour les bobines d'inductance de lissage);
- valeur de l'inductance (à une ou plusieurs valeurs spécifiées du courant);
- fréquence assignée;
- agent de refroidissement et type;
- désignation du mode de refroidissement;
- masse totale.

Temperature-rises resulting from Table 3 apply to temperatures measured:

- by the method of variation of resistance to calculate the average winding temperature;
- by thermometer (bulb or electrical) for parts other than windings.

The temperature-rise of the cores and other parts of transformers or inductors shall in no case reach a value that may damage these parts or adjacent ones.

In the case of K liquids, the type of liquid shall be subject to approval by the purchaser.

9 Rating plates

9.1 Transformer rating plate

Each transformer shall be provided with a rating plate showing at least the items indicated below, unless otherwise agreed between user and manufacturer:

- manufacturer's name;
- manufacturer's serial number;
- date of manufacturing;
- connection diagram;
- principal tapplings;
- rated power and voltage of each winding;
- rated frequency;
- cooling medium and type;
- volume of cooling medium;
- identification of cooling method;
- total mass.

9.2 Inductor rating plate

Each inductor shall be provided with a rating plate showing at least the items indicated below, unless otherwise agreed between purchaser and manufacturer:

- manufacturer's name;
- manufacturer's serial number;
- type of inductor;
- rated current (r.m.s. value, or mean direct current for smoothing inductors);
- value of the inductance (at one or more specified reference current values);
- rated frequency;
- cooling medium and type;
- identification of cooling method;
- total mass.

10 Essais

10.1 Catégories d'essais

10.1.1 Généralités

Il existe trois catégories d'essais:

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

Les descriptions des différents essais appartenant à chaque catégorie sont données ci-après.

10.1.2 Essais de type

Les essais de type sont effectués sur un seul appareil d'un modèle donné. Les essais doivent être réalisés sur un appareil choisi parmi le premier lot fabriqué.

Les appareils de fabrication suivie sont considérés comme ayant satisfait aux essais de type et doivent être dispensés de ces essais si le constructeur présente les procès-verbaux dûment signés des essais de type déjà effectués sur des appareils identiques construits précédemment.

L'exécution des essais de type facultatifs n'est exigible que si elle est expressément spécifiée dans la commande.

10.1.3 Essais individuels de série

Les essais individuels de série sont effectués sur tous les appareils d'une même commande. Pour certains appareils, après accord entre exploitant et constructeur, les essais individuels de série peuvent être remplacés par des essais sur quelques appareils de la commande prélevés au hasard.

10.1.4 Essais d'investigation

Les essais d'investigation sont des essais spéciaux de caractère facultatif qui sont effectués sur un seul appareil dans le but d'obtenir des renseignements complémentaires sur ses performances; leur exécution n'est exigible que si elle est expressément spécifiée dans la commande.

Les résultats de ces essais ne doivent pas influencer l'acceptation des appareils, à moins qu'un accord contraire ne soit spécifié dans la commande.

10.2 Essais des transformateurs

10.2.1 Généralités – Liste des essais

Les vérifications, mesures et essais à effectuer sur les transformateurs de traction sont indiqués dans le Tableau 4 qui précise également la catégorie de l'essai et les articles auxquels il convient de se reporter.

Autant que possible, les essais des bobines d'inductance de transition qui ne peuvent être dissociées du transformateur doivent être exécutés en même temps que les essais de ce dernier. L'exploitant et le constructeur doivent se mettre d'accord sur les essais à faire subir, au besoin, à ces bobines d'inductance en tant qu'appareils séparés, afin de s'assurer qu'elles satisfont bien à toutes les prescriptions de la présente norme.

10 Tests

10.1 Categories of tests

10.1.1 General

There are three categories of tests:

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

Descriptions of the different tests belonging to each category are given below.

10.1.2 Type tests

Type tests are carried out on a single piece of equipment of a given design. The test shall be carried out on one unit chosen among the first batch produced.

Bulk production equipment shall be deemed to have passed the type tests and shall be exempted from them if the manufacturer produces duly signed certificates of type tests already carried out on identical equipment constructed on a previous occasion.

Optional type tests are to be carried out only if they have been expressly specified in the order.

10.1.3 Routine tests

Routine tests are carried out on all equipment of the same order. For certain equipment, after agreement between user and manufacturer, the routine tests may be replaced by tests carried out on a few items of equipment taken at random from the order.

10.1.4 Investigation tests

Investigation tests are special tests of an optional character carried out on a single equipment in order to obtain additional information on its performance; they are only to be carried out if they have been expressly specified in the order.

The results of these tests shall not influence the acceptance of the equipment unless agreement to the contrary has been specified in the order.

10.2 Tests on transformers

10.2.1 General – List of tests

The checks, measurements and tests to be made on traction transformers are indicated in Table 4, which also stipulates the category of the test and the clauses to which reference should be made.

As far as practicable, the tests on transition inductors which cannot be dissociated from the transformer shall be carried out together with the tests on the latter. User and manufacturer shall agree on the tests to be made, if necessary, on these inductors as separate equipment, so as to ensure that they fulfil all requirements of this standard.

Tableau 4 – Liste des vérifications et des essais à effectuer sur les transformateurs de traction

Nature de l'essai	Article et paragraphe		
	Type	Série	Investigation
Vérifications préliminaires	–		–
Mesure de la résistance des enroulements	10.2.4	10.2.4	–
Mesure des rapports de transformation	10.2.5	10.2.5	–
Mesure du courant primaire et des pertes à vide	10.2.6.1	10.2.6.2	–
Mesure de la tension de court-circuit	10.2.7	10.2.7	–
Mesure des pertes dues à la charge	10.2.8.2	10.2.8.3	–
Détermination des pertes totales	10.2.9		–
Echauffement	10.2.10		
Diélectrique:			–
par tension induite		10.2.11.1	–
par tension de source séparée		10.2.11.2	
aux ondes de choc pleine onde	10.2.11.3		–
Comportement dans des conditions de court-circuit (facultatif)			10.2.12
Résistance aux chocs et vibrations	10.2.13		–

Pour les essais des transformateurs de traction faisant partie d'un convertisseur statique, il convient de se référer en outre à la CEI 61287.

NOTE La vérification de l'efficacité des protections contre les surtensions d'origine interne, les pénétrations de pluie, neige, sable, etc., ne pouvant valablement s'effectuer que sur les véhicules montés, il convient de se reporter à la CEI 61133 si certains essais sont considérés comme nécessaires.

10.2.2 Tolérances

Le Tableau 5 donne les tolérances applicables à certaines grandeurs assignées et à d'autres grandeurs lorsqu'elles sont sujettes à des garanties du constructeur se référant à la présente norme.

Lorsqu'une tolérance dans un sens n'est pas indiquée, la valeur n'est soumise à aucune limitation dans ce sens.

Tableau 5 – Tolérances

Grandeur (et paragraphe)	Tolérances
1 a) Pertes totales	+10 % des pertes totales
b) Pertes partielles (10.2.6, 10.2.8, 10.2.9)	+15 % de chacune des pertes partielles à condition de ne pas dépasser la tolérance sur les pertes totales
2 Rapport de transformation à vide sur la prise principale (rapport de transformation assigné) (10.2.5)	±0,5 % du rapport spécifié sur la plaque signalétique ou un pourcentage du rapport spécifié égal à 1/10 de la tension de court-circuit réelle, exprimée en pourcentage, à la charge assignée en prenant la plus faible des valeurs
3 Tension de court-circuit (à la prise principale) (10.2.7)	±15 % de la tension de court-circuit spécifiée pour cette prise ¹⁾
4 Courant à vide (10.2.6)	+30 % du courant à vide spécifié
1) Pour les autres prises, la tolérance doit faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur. Pour des applications spéciales la tolérance peut être réduite à 10 % par accord entre l'acheteur et le fournisseur.	

Table 4 – List of checks and tests to be made on traction transformers

Nature of test	Clause or Subclause		
	Type	Routine	Investigation
Preliminary checks	–		–
Measurement of winding resistance	10.2.4	10.2.4	–
Measurement of voltage ratios	10.2.5	10.2.5	–
Measurement of no-load primary current and losses	10.2.6.1	10.2.6.2	–
Measurement of impedance voltage	10.2.7	10.2.7	–
Measurement of load losses	10.2.8.2	10.2.8.3	–
Determination of total losses	10.2.9		–
Temperature-rise	10.2.10		
Dielectric:			–
induced voltage withstand		10.2.11.1	–
separate source voltage withstand		10.2.11.2	
full wave impulse voltage withstand	10.2.11.3		–
Behaviour under short-circuit conditions (optional)			10.2.12
Shock and vibration withstand	10.2.13		–

For tests on traction transformers forming a part of a static convertor, reference should also be made to IEC 61287.

NOTE As checks on the effectiveness of the means of protection against surges of internal origin, ingress of rain, snow or sand, etc., can only be accurately carried out on completed vehicles, reference should be made to IEC 61133 if any tests are considered necessary.

10.2.2 Tolerances

Table 5 gives tolerances applicable to certain rated quantities and to other quantities when they are the subject of manufacturer's guarantees referring to this standard.

When a tolerance in one direction is omitted, there is no limit on the value in that direction.

Table 5 – Tolerances

Quantity (and subclause)	Tolerance
1 a) Total losses	+10 % of the total losses
b) Component losses (10.2.6, 10.2.8, 10.2.9)	+15 % of each component loss provided that the tolerance on total losses is not exceeded
2 Voltage ratio at no-load on the principal tapping (rated voltage ratio (10.2.5))	$\pm 0,5$ % of the ratio declared on the rating plate, or a percentage of the declared ratio equal to 1/10 of the actual percentage impedance voltage at rated load, whichever is the lesser value
3 Impedance voltage (for principal tapping)(10.2.7).	± 15 % of the declared impedance voltage for that tapping ¹⁾
4 No-load current (10.2.6)	+30 % of the declared no-load current
¹⁾ For other tappings, tolerance shall be subject to agreement between user and manufacturer. For special applications, the tolerance may be reduced to 10 % by agreement between purchaser and supplier.	

10.2.3 Vérifications préliminaires (essai individuel de série)

On doit vérifier le schéma de circuit, le marquage des bornes, la relation du vecteur de tension (pour les transformateurs triphasés), les polarités et les indications de la plaque signalétique.

10.2.4 Mesure de la résistance des enroulements (essais de type et individuels de série)

La résistance de chacun des enroulements entre bornes accessibles doit être mesurée à froid en courant continu. Il convient de se référer à la CEI 60076 pour les précautions à prendre en vue de réduire au minimum les effets de self-induction et de déterminer correctement la température des enroulements. La température à laquelle la mesure est réalisée doit aussi être notée.

Pour les essais de type:

- a) Si l'un des enroulements est muni de prises pour le réglage de la tension du circuit de traction, la résistance totale de la portion active dudit enroulement doit être mesurée pour chaque prise.
- b) Si certains enroulements auxiliaires comportent plusieurs sections, on doit mesurer la résistance de chacune d'elles.

Pour les essais individuels de série:

- la mesure a) peut être limitée à la prise principale de l'enroulement;
- la mesure b) peut être effectuée seulement sur la totalité de l'enroulement auxiliaire.

10.2.5 Mesure des rapports de transformation (essais de type et individuels de série)

Les divers rapports de transformation entre paires d'enroulements doivent être mesurés pour chacune des prises accessibles de ceux-ci.

Si un transformateur à réglage haute tension comporte plusieurs enroulements secondaires de traction et si des rapports de transformation corrects ont été trouvés lors des mesures effectuées entre ces enroulements secondaires, il suffira de mesurer le rapport de transformation entre l'un de ces enroulements secondaires et l'enroulement côté ligne pour toutes les prises de ce dernier.

La mesure du rapport de transformation d'un transformateur de traction à rapport fixe faisant partie d'un transformateur à réglage haute tension est un essai de type.

10.2.6 Mesure du courant primaire et des pertes à vide (essais de type et individuels de série)

Les mesures doivent être faites à la fréquence assignée, la forme d'onde de la tension appliquée étant pratiquement sinusoïdale.

Au cas où la tension d'essai ne serait pas sinusoïdale, il convient de se référer à la CEI 60076 pour la méthode de correction à utiliser. La tension doit être appliquée à un enroulement convenable du transformateur; si celui-ci est à réglage haute tension, le graduateur et le primaire du transformateur de traction à rapport fixe doivent rester en circuit mais, dans tous les cas, tous les autres enroulements doivent être laissés ouverts.

10.2.3 Preliminary checks (routine test)

A check shall be made of the circuit diagram, terminal markings, voltage vector relationship (for three-phase transformers), polarities and the particulars on the rating plate.

10.2.4 Measurement of winding resistance (type and routine tests)

The resistance of each winding between accessible terminals shall be measured when cold with direct current. Reference should be made to IEC 60076 for the precautions to be taken for the minimization of self-inductive effects and the proper determination of the temperature of the windings. The temperature at which the measurement is taken shall also be recorded.

For type tests:

- a) If a winding is provided with tapplings for the regulation of the voltage of the traction circuit, the total resistance of the live portion of the said winding shall be measured for each tapping.
- b) If certain auxiliary windings have several sections, the resistance of each shall be measured.

For routine tests:

- measurement a) may be limited to the principal tapping of the winding;
- measurement b) may only be carried out on the whole of the auxiliary winding.

10.2.5 Measurement of voltage ratios (type and routine tests)

The various voltage ratios between pairs of windings shall be measured for all accessible tapplings of these windings.

If a transformer with a high-voltage control has several traction secondary windings and if correct voltage ratios have been recorded during measurement made between these secondary windings, it will be sufficient to measure the voltage ratio between one of these secondary windings and the line-side winding for all the tapplings of the latter.

The measurement of the voltage ratio of a fixed ratio traction transformer forming a part of a transformer with high-voltage control is a type test.

10.2.6 Measurement of no-load primary current and losses (type and routine tests)

Measurement shall be made at rated frequency, the waveform of the applied voltage being approximately sinusoidal.

In case of a non-sinusoidal test voltage, reference should be made to IEC 60076 for the method of correction which may be used. The voltage shall be applied to a suitable winding of the transformer; if the transformer has high-voltage control, the tap changer and the primary of the fixed ratio traction transformer shall remain in circuit but, in any case, all other windings shall be open-circuited.

10.2.6.1 Essai de type

Les mesures du courant et des pertes à vide doivent être effectuées pour des tensions côté ligne respectivement égales à $0,8 U$, $0,9 U$ et $1,1 U$ (U étant la tension assignée côté ligne).

Si le transformateur est à réglage haute tension, les mesures doivent être faites pour trois positions du gradateur, l'une d'elles étant celle qui correspond à la prise principale.

10.2.6.2 Essais individuels de série

Les mesures doivent être réalisées comme en 10.2.6.1, mais seulement pour la tension assignée U et pour la prise principale.

10.2.7 Mesure des tensions de court circuit (essais de type et individuels de série)

Par suite de la diversité des dispositions des enroulements des transformateurs de traction, l'ensemble des combinaisons de paires d'enroulements sur lesquelles on doit mesurer les tensions de court-circuit doit être fixé par accord entre exploitant et constructeur. Il convient que les essais de type donnent des renseignements suffisants pour permettre le tracé des caractéristiques en charge du transformateur sur toutes les positions du dispositif de changement de prises et pour le calcul des courants de défaut.

Les tensions de court-circuit doivent être mesurées selon les prescriptions de la CEI 60076 pour les combinaisons suivantes des enroulements:

- a) enroulement côté ligne et ensemble des enroulements de traction (essais de type et individuels de série);
- b) enroulement côté ligne et chaque groupe d'enroulement commutant simultanément ou presque (essai de type);
- c) enroulement côté ligne et chacun des enroulements séparés de traction (essais de type et individuels de série);
- d) enroulements côté ligne et chacun des enroulements séparés auxiliaires (essais de type).

Pour les essais de types a), b) et c), les mesures doivent être faites sur toutes les prises, tandis que pour l'essai de type d) et pour les essais individuels de série, les mesures doivent être faites seulement sur la prise principale pour l'enroulement côté ligne et sur une prise spécifiée pour les enroulements auxiliaires.

Si des mesures supplémentaires sur d'autres prises ou sur d'autres combinaisons d'enroulements sont exigées, celles-ci doivent faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

On mesure la tension de court-circuit à la fréquence assignée en utilisant une source de tension pratiquement sinusoïdale. La mesure peut être effectuée avec un courant quelconque compris entre 25 % et 100 % du courant assigné. En aucun cas, la tension appliquée à un enroulement ne doit dépasser 50 % de la tension assignée dudit enroulement ou le courant dans cet enroulement excéder sa valeur assignée.

On doit corriger la valeur obtenue à l'essai en la multipliant par le rapport du courant assigné au courant utilisé pour l'essai. Les valeurs ainsi obtenues doivent être ramenées à la température de référence appropriée indiquée en 10.2.9.

10.2.6.1 Type test

The measurement of the no-load current and losses shall be made for line-side voltages of $0,8 U$, $0,9 U$ and $1,1 U$ (U being the rated line-side voltage).

If the transformer has high-voltage control, the measurements shall be made for three positions of the tap changer, one of them corresponding to the principal tapping.

10.2.6.2 Routine test

The measurements shall be made as in 10.2.6.1, but only for rated voltage U and for the principal tapping.

10.2.7 Measurement of impedance voltages (type and routine tests)

Due to the diversity of winding arrangements of traction transformers, all the combinations in pairs of windings on which impedance voltages are to be measured shall be fixed by agreement between user and manufacturer. The type tests should provide sufficient data to allow plotting of the on-load characteristics of the transformer on all positions of the tap changing equipment as well as for calculating the fault currents.

Impedance voltages shall be measured according to the procedure in IEC 60076 for the following combinations of windings:

- a) line-side winding to all traction windings in common (type and routine);
- b) line-side winding to each group of windings commutating at, or almost, the same time (type test);
- c) line-side winding to each independent traction winding separately (type and routine tests);
- d) line-side winding to each auxiliary winding separately (type test).

In type tests a), b) and c), measurements shall be taken on all tapplings, while for type test d) and for the routine tests measurements need only be taken on the principal tapping for the line-side winding and on a specified tapping for the auxiliary windings.

If additional measurements on other tapplings or in other combinations of windings are required, these shall be agreed between user and manufacturer.

The impedance voltage shall be measured at rated frequency using an approximately sinusoidal voltage supply. The measurements may be made at any current between 25 % and 100 % of the rated current. In no case shall the voltage applied to any winding exceed 50 % of the rated voltage of the said winding or the current through it exceed its rated value.

The measured value shall be corrected by increasing it in the ratio of rated current to test current. The values so derived shall be corrected to the appropriate reference temperature indicated in 10.2.9.

10.2.8 Mesure des pertes dues à la charge (essais de type et individuels de série)

10.2.8.1 Généralités

Les pertes dues à la charge doivent être relevées au cours des essais de type et individuels de série pour la mesure des tensions de court-circuit (10.2.7) et les valeurs ainsi obtenues doivent être corrigées en les multipliant par le carré du rapport du courant assigné au courant utilisé pour l'essai.

Les pertes ainsi obtenues doivent être ramenées à la température de référence appropriée indiquée en 10.2.9 en tenant compte du fait que I^2R (R = résistance en courant continu) varie de manière directe avec la résistance et les autres pertes en raison inverse. La résistance doit être déterminée comme indiqué en 10.2.4.

Les pertes dues à la charge doivent être déterminées pour les combinaisons suivantes de paires d'enroulements:

- a) enroulement côté ligne/tous les enroulements secondaires de traction en parallèle ou en série suivant le cas;
- b) enroulement côté ligne/chacun des enroulements secondaires auxiliaires.

Pour la détermination des pertes dues à la charge des transformateurs faisant partie d'un convertisseur statique, se référer à la CEI 61287.

NOTE Les pertes totales pour l'ensemble des circuits ne peuvent être obtenues par la simple addition des pertes mesurées pour chaque paire d'enroulements comme prescrit ci-dessus.

Elles peuvent, dans certains cas, être calculées à partir de la résistance en courant continu de chaque enroulement et du courant approprié, en ajoutant les pertes supplémentaires déduites des essais.

10.2.8.2 Essai de type

Les pertes dues à la charge doivent être déterminées pour les combinaisons a) et b) définies en 10.2.8.1. Pour la combinaison a), la détermination doit être faite pour trois positions de l'équipement de changement de prises correspondant respectivement:

- à la prise principale;
- à la prise conduisant aux pertes maximales dans les enroulements de traction;
- à une autre prise.

10.2.8.3 Essai individuel de série

Les pertes dues à la charge doivent être déterminées pour la combinaison a) de 10.2.8.1 seulement et limitées à la prise principale.

10.2.9 Détermination des pertes totales (essai de type)

Les pertes totales sont égales à la somme des pertes à vide (10.2.6) et des pertes dues à la charge (10.2.8) après correction de ces dernières les ramenant à la température de référence des enroulements fixée au Tableau 6.

10.2.8 Measurement of load losses (type and routine tests)

10.2.8.1 General

Load losses shall be recorded during the impedance voltage type and routine tests (see 10.2.7) and the values so obtained shall be corrected by multiplying them by the square of the ratio of rated current to test current.

The load losses so derived shall be corrected to the appropriate reference temperature given in 10.2.9, taking the I^2R (R = d.c. resistance) as varying directly with resistance and all the other losses varying inversely with resistance. Resistance shall be determined as specified in 10.2.4.

Load losses shall be determined for the following combinations in pairs of windings:

- a) line-side winding/all traction secondary windings in parallel or in series, as appropriate;
- b) line-side winding/each one of the auxiliary secondary windings.

For the determination of load losses of transformers forming a part of a static convertor, reference should be made to IEC 61287.

NOTE The total losses for all circuits cannot be obtained by simple arithmetic addition of the losses measured on pairs of windings as prescribed above.

They may in some cases be calculated from the d.c. resistance of each winding and the appropriate current, adding the additional losses derived from the tests.

10.2.8.2 Type test

Load losses shall be determined for combinations a) and b) defined in 10.2.8.1. For combination a), the determination shall be made for three positions of the tap changing equipment corresponding respectively:

- to the principal tapping;
- to the tapping giving the highest load losses in the traction windings;
- to another tapping.

10.2.8.3 Routine test

Load losses shall be determined for combination a) of 10.2.8.1 only and limited to the principal tapping.

10.2.9 Determination of total losses (type test)

The total losses are the sum of the no-load losses (10.2.6) and the load losses (10.2.8) after correction of the latter to the appropriate reference temperature of the windings, which is given in Table 6.

Tableau 6 – Températures de référence

Classe thermique	Température de référence °C
A E	85
B	130
F H 200 220 250	150

Les pertes totales dans les circuits de traction d'un transformateur de traction sont calculées pour la prise principale et pour la prise conduisant aux pertes maximales dans les circuits de traction.

Les pertes totales d'un transformateur de traction sont calculées pour la combinaison de la charge de traction assignée et des charges assignées auxiliaires. Sauf accord contraire entre exploitant et constructeur, les pertes correspondant au chauffage du train sont usuellement comprises dans ce calcul. La puissance absorbée par l'équipement auxiliaire du transformateur (pompe à huile, ventilateur, etc.) n'est pas à inclure dans les pertes totales.

Sauf spécification contraire, pour des transformateurs autres que les transformateurs de traction, les pertes totales sont calculées en admettant que tous les enroulements sont chargés simultanément à leur régime assigné.

10.2.10 Essai d'échauffement (essai de type)

L'essai d'échauffement est effectué à la puissance assignée du transformateur (Article 6), les enroulements munis de prises fonctionnant sur leur prise principale ou sur une prise spécifiée.

Durant l'essai, tous les accessoires pour la circulation et le refroidissement de l'agent de refroidissement sont disposés dans des conditions équivalentes à celles qui seront réalisées sur le véhicule.

Pour les transformateurs à circulation forcée d'air et assimilés couverts par 7.1.3, l'essai doit être réalisé avec le débit d'air (ou la vitesse) spécifié.

L'une quelconque des méthodes d'essai indiquées dans la CEI 60076 peut être utilisée au choix du constructeur:

- la méthode de mise en charge directe;
- la méthode d'opposition;
- la méthode du court-circuit.

Il convient de se référer également à la CEI 60076 pour:

- la mesure des différentes températures;
- les durées d'essais;
- la détermination de l'échauffement des enroulements;
- les corrections éventuelles des valeurs relevées.

Les méthodes de mise en charge directe et d'opposition sont fréquemment utilisées dans ce type de transformateurs, surtout dans le cas de caractéristiques limitées. Les détails concernant ces méthodes sont soumis à accord entre l'exploitant et le constructeur.

Table 6 – Reference temperatures

Thermal class	Reference temperature °C
A E	85
B	130
F H 200 220 250	150

The total losses for the traction circuits of a traction transformer are calculated for the principal tapping and for the tapping giving the highest traction load losses.

The total losses for the traction transformers are calculated for the combination of rated traction load and rated auxiliary circuit loads. Subject to agreement between user and manufacturer, the losses associated with the train heating load are usually included in this calculation. The power consumption of the transformer auxiliary equipment (oil pump, fan, etc.) is not included in its total losses.

Unless otherwise specified, for transformers other than traction transformers, the total losses are calculated for rated load in all windings simultaneously.

10.2.10 Temperature-rise test (type test)

The temperature-rise test is made at the rated power of the transformer (Clause 6), the tapped windings operating at their principal or specified tapping.

During the test, all accessories for circulation and cooling of the cooling medium are arranged in conditions equivalent to those obtained on the vehicle.

For transformers with forced-air cooling, or similar type of cooling as covered in 7.1.3, the test shall be carried out with the specified air flow (or velocity).

Any of the test methods given in IEC 60076 may be used at will by the manufacturer, i.e.:

- the direct loading method;
- the back-to-back method;
- the short-circuit method.

Reference should also be made to IEC 60076 for:

- the measurement of various temperatures;
- the duration of tests;
- the determination of the temperature-rise of winding;
- any necessary corrections of readings.

The direct loading method and back-to-back methods are of common use in this type of transformer, mainly when of limited rating. Details of such methods are subject to agreement between user and manufacturer.

La méthode du court-circuit doit être utilisée conformément à la CEI 60076-2.

Pour les essais d'échauffement des transformateurs faisant partie d'un convertisseur statique et en particulier pour la détermination des courants thermiquement équivalents dans leurs enroulements, il est recommandé de se référer en outre à la CEI 61287. Les valeurs finales des échauffements des divers organes du transformateur ne doivent pas excéder les limites indiquées au Tableau 3. Si le constructeur ne peut pas reproduire les formes d'ondes de fonctionnement pour le transformateur, l'acheteur et le fournisseur doivent trouver un accord sur la méthode d'essai d'échauffement.

10.2.11 Essais diélectriques (essais de type et individuels de série)

Les essais diélectriques des transformateurs neufs sont effectués dans les ateliers du constructeur, sur les appareils à la température des ateliers et munis de ceux de leurs accessoires qui peuvent avoir une influence sur ces essais.

En raison de la diversité des variantes, les dispositions à adopter pour ces essais doivent être définies dans chaque cas particulier. Toutefois:

- on doit maintenir connectés à la masse les divers points des enroulements qui y sont connectés directement en service;
- pour les transformateurs de traction à réglage «haute tension», le gradateur doit être connecté à la prise principale.

Les essais diélectriques comprennent:

- des essais par tension induite (voir 10.2.11.1);
- des essais par tension de source séparée à fréquence industrielle (voir 10.2.11.2);
- des essais aux ondes de choc pleine onde (voir 10.2.11.3).

Pour les essais par tension induite et par tension de source séparée, les tensions d'essai à utiliser sont données, en valeur efficace, dans les Tableaux 7 et 8. La mesure directe de la tension efficace peut être remplacée par la mesure de la valeur de crête de la tension; il convient que cette valeur de crête divisée par $\sqrt{2}$ soit égale à la valeur efficace indiquée dans les tableaux.

Tableau 7 – Tensions d'essais diélectriques des enroulements directement connectés à la ligne de contact

Tension nominale U_n du système de traction V	Tension assignée d'isolement U_{Nm} (inférieur strictement)	Tension d'essai U' V	
		Essai de puissance en fréquence (valeur efficace)	Essai aux ondes de chocs (valeur de crête)
750 *	900	2 800	6 000
1 500 *	2 300	5 500	12 000
3 000 *	3 700	11 500	25 000
15 000	17 250	38 000	95 000
20 000	24 000	44 000	95 000
25 000	27 500	60 000	150 000
50 000	60 000	120 000	300 000

NOTE Dans des cas spéciaux, après accord spécifique entre l'exploitant et le constructeur, il peut être fait usage de tensions d'essai plus élevées que celles données dans ce tableau.

* Les valeurs marquées avec une * concernent les enroulements des inductances connectées à la ligne de contact en courant continu.

The short circuit method shall be carried out in accordance with IEC 60076-2.

For the temperature tests on transformers forming part of a static convertor, and especially for the determination of thermally equivalent currents in their windings, it is recommended to make reference also to IEC 61287. The final values of the temperature-rise of the various parts of the transformer shall not exceed the limits indicated in Table 3. If the manufacturer cannot reproduce the operating waveforms for the transformer, then agreement between purchaser and supplier shall be achieved for the method of temperature rise test.

10.2.11 Dielectric tests (type and routine tests)

The dielectric tests on new transformers are carried out in the manufacturer's workshop with the transformers at room temperature and equipped with those accessories which could influence the tests.

In view of the number of likely variations, the arrangements to be adopted for these tests shall be defined in each particular case. However:

- the earth connection shall be retained on those points of the windings which are so connected in service;
- for traction transformers with high-tension control, the tap changer shall be connected to the principal tapping.

Dielectric tests include:

- induced voltage withstand tests (see 10.2.11.1);
- separate source voltage withstand tests at industrial frequency (see 10.2.11.2);
- full wave impulse voltage withstand tests (see 10.2.11.3).

For induced voltage and separate source tests, the test voltages to be used are given as r.m.s. values in Tables 7 and 8. The direct measurement of r.m.s. voltage may be replaced by the measurement of the voltage peak value; this peak value divided by $\sqrt{2}$ should be equal to the r.m.s. value given in the Tables.

Table 7 – Dielectric test voltages for windings directly connected to the contact line

Nominal voltage U_n of the traction system V	Rated insulation voltage U_{Nm} (up to and excluding)	Test voltage U' V	
		Power frequency voltage test (r.m.s. value)	Impulse voltage test (peak value)
750 *	900	2 800	6 000
1 500 *	2 300	5 500	12 000
3 000 *	3 700	11 500	25 000
15 000	17 250	38 000	95 000
20 000	24 000	44 000	95 000
25 000	27 500	60 000	150 000
50 000	60 000	120 000	300 000

NOTE For special cases, after specific agreement between user and manufacturer, values of test voltages exceeding those stated in this Table may be used.

* Values marked with * are related to inductor windings connected to the d.c. catenary.

**Tableau 8 – Tensions d'essai diélectriques U' en volts
(par tension induite ou par tension de source séparée)
pour les autres enroulements (valeurs efficaces)**

Tension assignée d'isolement (inférieur, strictement)	Transformateurs de traction et auxiliaires avec un autre enroulement directement connecté à la ligne de contact	Autres enroulements non connectés à la ligne de contact
300	–	1 500
660	–	2 500
900	4 000	3 300
1 200	4 700	3 900
1 600	5 600	5 200
2 300	7 000	6 600
3 000	8 000	8 000
3 700	10 000	9 400
4 800	13 000	11 600
6 500	17 000	15 000

10.2.11.1 Essai par tension induite (essai individuel de série)

Cet essai a pour objet essentiel d'éprouver l'isolement entre spires, bobines et prises, pour l'ensemble des enroulements intéressés.

Pour les enroulements dont une extrémité ou une prise est en permanence mise à la terre, cet essai constitue simultanément un essai par tension de source séparée pour l'extrémité de l'enroulement isolée de la terre. Pour l'application de la tension d'essai, la variation de la durée de l'essai en fonction de la fréquence, etc., il convient de se référer à la CEI 60076. Lors de l'essai, la cuve et les enroulements couplés, autres que celui servant à l'alimentation, doivent être connectés à la terre par l'une de leurs bornes.

Lors de l'essai d'un enroulement par tension induite, il convient de s'assurer que les tensions auxquelles se trouvent portés les différents enroulements couplés magnétiquement n'excèdent pas les valeurs indiquées au Tableau 7.

10.2.11.2 Essai par tension de source séparée (essai individuel de série)

Cet essai est applicable à tous les enroulements de transformateurs qui ne sont pas connectés à la ligne de contact ou reliés en permanence à la terre à l'intérieur du transformateur. L'essai par tension de source séparée doit être effectué en utilisant une source séparée fournissant une tension alternative monophasée, qui doit être appliquée successivement entre chaque enroulement à essayer et les autres enroulements connectés ensemble à la cuve et à la terre. Pour la forme de la tension d'essai, la fréquence minimale, les détails d'application de la tension, la durée de l'essai, il convient de se référer à la CEI 60076.

Les enroulements reliés à la ligne de contact et qui ne sont pas mis à la terre en permanence à l'intérieur du transformateur doivent être soumis à un essai par tension à source séparée. La valeur de la tension d'essai doit être déterminée par accord entre l'exploitant et le constructeur, en tenant compte du niveau d'isolement de l'extrémité côté terre de l'enroulement.

**Table 8 – Dielectric test voltage U' in volts
(induced voltage or separate source voltage withstand test)
for other windings (r.m.s.)**

Rated insulation voltage (up to and excluding)	Traction and auxiliary transformers with another winding directly connected to the contact line	Other windings not connected to the catenary
300	–	1 500
660	–	2 500
900	4 000	3 300
1 200	4 700	3 900
1 600	5 600	5 200
2 300	7 000	6 600
3 000	8 000	8 000
3 700	10 000	9 400
4 800	13 000	11 600
6 500	17 000	15 000

10.2.11.1 Induced voltage withstand test (routine test)

The main object of this test is to check insulation between turns, coils and tapings of all the windings concerned.

For all windings which have one extremity or one tapping permanently earthed, this test constitutes simultaneously a separate source voltage withstand test for the non-earthed extremity of the winding. For application of test voltage, variation of the test duration according to the frequency, etc., reference should be made to IEC 60076. During the test, the tank and the coupled windings other than the one used for the supply, shall be connected to earth by one of their terminals.

During the induced voltage test on a winding, care should be taken that the voltages induced in the various windings on the same magnetic circuit do not exceed the values given in Table 7.

10.2.11.2 Separate source voltage withstand test (routine test)

This test is applicable to all windings of transformers which are not connected to the contact line or permanently earthed in the transformer itself. The separate source voltage test shall be made by using a separate source, supplying an alternative single-phase voltage, which shall be applied in turn between each of the windings to be tested and all the other windings connected together to the tank and to earth. For the waveshape of the test voltage, the minimum frequency, the details for applying the voltage and the duration of test, reference should be made to IEC 60076.

Windings connected to the contact line and not permanently earthed in the transformer shall be subjected to a separate source voltage withstand test at a voltage value to be agreed between user and manufacturer. This voltage is governed by the insulation level at the earthed end of the winding.

10.2.11.3 Essai aux ondes de choc en pleine onde (essai de type)

Cet essai s'applique aux transformateurs de traction et auxiliaires, directement alimentés par la ligne de contact. La tension de choc doit être appliquée à la borne côté ligne du transformateur.

Pendant l'essai:

- la cuve et toutes les bornes secondaires accessibles doivent être directement connectées à la terre;
- l'extrémité à la terre de l'enroulement côté ligne doit être mise à la terre soit directement, soit par l'intermédiaire d'une impédance de faible valeur;
- tous les dispositifs de protection contre les surtensions, reliés en service à la borne côté ligne, doivent être enlevés ou déconnectés;
- dans le cas de réglage haute tension, le gradateur doit être connecté à la prise principale.

Les essais en pleine onde doivent être effectués avec l'onde normalisée 1,2/50 μ s, la valeur de crête de la tension appliquée étant celle qui est spécifiée dans le Tableau 7. Pour les méthodes d'exécution des essais, l'indication des défauts, etc., on se réfère à la CEI 60076. Les essais en ondes coupées ne sont pas recommandés.

10.2.12 Comportement dans des conditions de court-circuit (essai d'investigation)

Cet essai doit être exigé dans les spécifications d'appel d'offre et faire l'objet d'un accord entre exploitant et constructeur dans la commande et être conforme à la CEI 60076-5.

Le transformateur doit pouvoir supporter sans dommage les effets mécaniques et thermiques des courts-circuits pouvant se produire entre les bornes de tous les enroulements secondaires. Pour les enroulements auxiliaires, on doit tenir compte de la présence d'impédances et/ou de dispositifs de protection (fusibles, commutateurs, etc.) dans les circuits correspondants.

Il est recommandé à l'exploitant de spécifier, à l'attention des constructeurs, la valeur maximale de la puissance de court-circuit susceptible d'être atteinte à l'entrée du véhicule.

La tension à prendre en compte est la valeur maximale du réseau de traction, comme spécifié dans la CEI 60850.

10.2.13 Essai de choc et vibrations (essai de type)

Voir la CEI 61373.

Les essais de fonctionnement sont seulement prescrits pour les parties mobiles associées au transformateur.

Les essais de performance qui doivent être répétés après les essais de choc et de vibrations (Article 12 de la CEI 61373), sauf accord contraire entre l'acheteur et le fournisseur, doivent comporter:

- a) la mesure du courant et des pertes à vide;
- b) la mesure de la tension de court circuit;
- c) l'essai par tension induite ou de source séparée.

Si les résultats des essais en a) et b) ci-dessus présentent une différence inférieure à 2 % par rapport aux valeurs mesurées au cours des essais originaux, le transformateur est considéré avoir satisfait aux essais de chocs et de vibrations. Pour l'essai en c) la tension d'essai doit avoir une valeur égale à 75 % des valeurs utilisées pour l'essai d'origine et il ne doit se produire aucun claquage.

10.2.11.3 Full wave impulse voltage withstand test (type test)

This test is to be applied to traction and auxiliary transformers directly supplied from the contact line. An impulse voltage shall be applied to the line-side terminal of the transformer.

During the test:

- the tank and all accessible secondary terminals shall be directly earthed;
- the earthed end of the line-side winding shall be earthed either directly or through an impedance of low value;
- any overvoltage protective devices associated with the line-side terminal in service shall be removed or disconnected;
- if high-tension control is used, the tap changer shall be connected to the principal tapping.

Full wave tests shall be carried out with the standard impulse waveshape 1,2/50 μ s; the peak value of the applied voltage shall be that specified in Table 7. For methods of carrying out the test, fault indication, etc., reference is made to IEC 60076. Tests with chopped waves are not recommended.

10.2.12 Behaviour under short-circuit conditions (investigation test)

This test shall be requested in tender specifications and agreed between user and manufacturer upon order and shall be in accordance with IEC 60076-5.

The transformer shall be capable of withstanding without damage the thermal and mechanical effects of short circuits between the terminals of all secondary windings. For the auxiliary windings, the presence in the corresponding circuits of an impedance and/or of protective devices (fuses, switches, etc.) has to be taken into account.

The maximum value of short circuit power available at the vehicle input should be specified by the user to the manufacturer.

The voltage to be taken into account is the maximum value of the traction system, as specified in IEC 60850.

10.2.13 Shock and vibration test (type test)

See IEC 61373.

The functional tests are required only for any moveable parts associated with the transformer.

The performance tests to be repeated after shock and vibration tests (Clause 12 of IEC 61373), unless otherwise agreed between purchaser and supplier, shall be:

- a) measurement of no-load current and losses;
- b) measurement of impedance voltage;
- c) induced voltage or separate source voltage withstand test.

If the results of the tests in items a) and b) above show a difference of less than 2 % in respect to the values measured during original tests, the transformer is considered to have been satisfactorily tested for shock and vibration withstand. For the test in item c) the test voltage shall be 75 % of the values used for the original test and no breakdown shall occur.

10.3 Inductances

10.3.1 Liste des essais

Les vérifications, mesures et essais à effectuer sur les bobines d'inductance sont indiqués dans le Tableau 9 qui précise également la catégorie de l'essai et les articles auxquels il convient de se reporter.

Tableau 9 – Liste des vérifications et essais à effectuer sur les bobines d'inductance

Nature de l'essai	Article ou Paragraphe		
	Type	Série	Investigation
Vérifications préliminaires	–	10.3.3	–
Mesure de la résistance des enroulements	–	10.3.4	–
Mesure des pertes	10.3.5	–	–
Mesure de l'inductance	10.3.6	10.3.6	–
Echauffement	10.3.7	–	–
Diélectrique:			
- tenue à la tension entre bornes	10.3.8.1	10.3.8.1	
- par tension de source séparée		10.3.8.2	–
- aux ondes de choc	10.3.8.3		–
Tenue aux chocs et vibrations	10.3.9		

10.3.2 Tolérances

Sous réserve d'accord entre l'acheteur et le fournisseur, les valeurs données au Tableau 10 sont considérées comme applicables en considérant que les valeurs données pour la conception sont prises comme des tolérances entre la valeur garantie ou de conception et la valeur mesurée au cours des essais de type sur un prototype.

Les valeurs données dans la colonne «construction» s'appliquent aux différences entre les valeurs mesurées pendant les essais individuels de série et celles qui apparaissent dans le prototype.

Tableau 10 – Tolérances

Grandeur (Article ou Paragraphe)	Tolérances	
	De conception	De construction
1 Résistance des enroulements (10.3.4)	–	±10 %
2 Pertes (10.3.5)		En courant alternatif: +10 %
3 Inductance (10.3.6)	Avec le courant approprié: ±15 %	En courant alternatif: ±10 %

Pour les autres valeurs, le cas échéant, les tolérances doivent être conformes à la CEI 60289.

10.3.3 Vérifications préliminaires (essai individuel de série)

On doit vérifier le marquage des bornes, les polarités et les indications de la plaque signalétique.

10.3 Tests on inductors

10.3.1 List of tests

The checks, measurements and tests to be made on inductors are indicated in Table 9 below which also stipulates the kind of test and the clauses to which reference should be made.

Table 9 – List of checks and tests to be made on inductors

Nature of test	Clause or Subclause		
	Type	Routine	Investigation
Preliminary checks	–	10.3.3	–
Measurement of winding resistance	–	10.3.4	–
Measurement of losses	10.3.5	–	–
Measurement of inductance	10.3.6	10.3.6	–
Temperature-rise	10.3.7	–	–
Dielectric:			
– voltage between terminals withstand	10.3.8.1	10.3.8.1	
– separate source voltage withstand		10.3.8.2	–
– full wave impulse voltage withstand	10.3.8.3		–
Shock and vibration withstand	10.3.9		

10.3.2 Tolerances

If agreed between purchaser and supplier, the values given in Table 10 are applicable considering that the values shown for the design are assumed as tolerances between the guaranteed or design value and the value measured during type tests on a prototype.

The values given in the “manufacturing” column apply to the discrepancies between the values measured under routine tests and those appearing in the prototype.

Table 10 – Tolerances

Quantity (Clause or Subclause)	Tolerances	
	Design	Manufacturing
1 Winding resistance (10.3.4)	–	±10 %
2 Losses (10.3.5)		With a.c. : +10 %
3 Inductance (10.3.6)	With the appropriate current: ±15 %	With a.c.: ±10 %

For other values, if any, the tolerances shall be in accordance with IEC 60289.

10.3.3 Preliminary checks (routine test)

A check shall be made on the terminal marking, the polarities, and the particulars on the rating plate.

10.3.4 Mesure de la résistance des enroulements (essai individuel de série)

La résistance des enroulements doit être mesurée en courant continu à la température ambiante avec les précautions d'usage pour réduire au minimum les effets de self-induction. La température à laquelle la mesure est réalisée doit être notée. Les résultats doivent être ramenés par correction à la température de référence (voir 10.2.9).

10.3.5 Détermination des pertes (essai de type)

Les pertes des bobines d'inductance à courant alternatif et pulsatoire doivent être mesurées avec un courant alternatif en puissance industrielle équivalent au courant de fonctionnement. Le courant équivalent doit avoir une valeur efficace dérivée de l'harmonique ou de la forme d'onde spécifiée par l'acheteur et doit tenir compte de l'effet évalué sur les pertes de la différence entre la condition d'essai et la condition de service.

Les pertes des bobines d'inductance à courant continu doivent être mesurées en courant continu. Le calcul des pertes dans le noyau magnétique doit aussi être déclaré.

Pour les bobines d'inductance à noyau magnétique ou écran, les pertes doivent être mesurées, lorsque cela est possible et sauf accord contraire, avec une fréquence et/ou une forme d'onde aussi proches que réalisable des conditions de service.

10.3.6 Mesure de l'inductance (essais de type et individuel de série)

En règle générale, les essais de type doivent être réalisés avec un courant adapté au type de bobine d'inductance, tandis que les essais individuels de série doivent être réalisés avec un courant alternatif. La valeur de l'inductance spécifiée ou mesurée dans les différentes conditions peut ne pas être la même et le constructeur et l'acheteur doivent se mettre d'accord sur la valeur à utiliser pour les essais individuels de série fondés sur les résultats de l'essai de type.

Pour les bobines d'inductance couplées, la mesure de l'inductance mutuelle (voir la CEI 60289) peut être prescrite comme essai de type.

10.3.6.1 Mesures sur les bobines d'inductance pour courant alternatif et les bobines d'inductance pour convertisseurs

10.3.6.1.1 Essai de type

La bobine d'inductance doit être alimentée en courant alternatif à la fréquence assignée; on doit relever les courbes d'impédance ou d'inductance en fonction du courant dans tout le domaine d'utilisation de la bobine d'inductance. Si l'exploitant le prescrit, la courbe de saturation doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le constructeur avant le démarrage de la production de série.

Pour les inductances à air, l'essai doit être exécuté seulement au courant assigné.

Pour les bobines d'inductance pour convertisseurs, la détermination du facteur Q (voir la CEI 60289, 20.4) peut être prescrite.

10.3.6.1.2 Essai individuel de série

L'impédance en courant alternatif doit être mesurée pour le courant et la fréquence assignés.

10.3.4 Measurement of winding resistance (routine test)

The resistance of the winding(s) shall be measured with a direct current at ambient temperature, taking the usual care to minimize self-inductive effects. The temperature at which the measurement is made shall be recorded. The results shall be corrected to the reference temperature (see 10.2.9).

10.3.5 Determination of losses (type test)

The losses of alternating and pulsating current inductors shall be measured with a power frequency alternating current equivalent to the working current. The equivalent current shall be a r.m.s. value derived from the harmonic content or wave shape specified by the purchaser and shall take into account the estimated effect on the losses of the difference between the test and service condition.

The losses of direct current inductors shall be measured with direct current. Calculation of the losses in the magnetic core shall also be declared.

For inductors with a magnetic core or shield, the losses shall, whenever possible and unless otherwise agreed, be measured with a frequency and/or wave shape as close as practicable to the service.

10.3.6 Measurement of inductance (type and routine tests)

As a general rule, the type tests shall be carried out with a current appropriate to the type of inductor, whereas the routine tests shall be made with an alternating current. The value of the inductance specified or measured under these different conditions may not be the same and the manufacturer and purchaser shall agree the value to be used for the routine tests based on the results from the type test.

For coupled inductors, measurement of the mutual inductance (see IEC 60289) may be required as a type test.

10.3.6.1 Measurements on inductors for alternating current and inductors for convertors

10.3.6.1.1 Type test

The inductor shall be fed by an a.c. source at rated frequency; impedance or inductance curves shall be plotted as a function of the current over the whole range of utilisation of the inductor. If the user requires, then the saturation curve shall be agreed between the purchaser and the manufacturer before series production is started.

For air-cored inductors, the test shall be made only at rated current.

For inductors for convertors, the determination of the Q factor (see IEC 60289, 20.4) may be required.

10.3.6.1.2 Routine test

The a.c. impedance shall be measured at rated frequency and current.

10.3.6.2 Mesure sur les bobines d'inductance pour courant continu

10.3.6.2.1 Essai de type

On doit relever les courbes de l'inductance transitoire (voir 3.3.2) en fonction du courant dans tout le domaine d'utilisation de l'inductance. Si l'exploitant le prescrit, la courbe de saturation doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le constructeur avant le démarrage de la production de série.

Sur l'inductance ayant satisfait à l'essai de type ci-dessus, on doit relever ensuite l'impédance et l'inductance en courant alternatif, à une fréquence industrielle convenue, pour plusieurs valeurs du courant telles que la tension ne puisse atteindre de valeurs dangereuses. L'exploitant et le constructeur doivent alors se mettre d'accord sur le choix d'un point de la courbe d'impédance ainsi obtenue; ce point doit être adopté comme base pour les essais individuels de série ultérieurs.

10.3.6.2.2 Essai individuel de série

L'impédance en courant alternatif à la fréquence convenue doit être mesurée avec le courant correspondant au point de «base» défini ci-dessus.

10.3.6.3 Mesures sur les bobines d'inductance pour le courant pulsatoire

10.3.6.3.1 Essai de type

On doit déterminer la courbe d'inductance en fonction du courant dans tout le domaine d'utilisation prévu. L'inductance des bobines d'inductance à air est calculée d'après la réactance mesurée en courant alternatif à fréquence industrielle.

Pour les inductances à noyau de fer, la méthode de mesure de l'inductance doit prendre en compte l'ondulation superposée au courant continu, et doit faire l'objet d'un accord entre exploitant et constructeur.

Les résultats des mesures d'inductance doivent être donnés en fonction de la valeur moyenne du courant pulsatoire dans tout le domaine d'utilisation de la bobine d'inductance.

Sur l'inductance ayant satisfait à l'essai de type ci-dessus, on doit relever ensuite l'impédance et l'inductance en courant alternatif, à la fréquence industrielle convenue, pour plusieurs valeurs du courant telles que la tension ne puisse pas atteindre de valeurs dangereuses.

L'exploitant et le constructeur doivent se mettre alors d'accord sur le choix d'un point de la courbe d'impédance/courant ainsi obtenue; ce point doit être adopté comme base pour les essais individuels de série ultérieurs. Si l'exploitant le prescrit, la courbe de saturation doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le constructeur avant le démarrage de la production de série.

10.3.6.3.2 Essai individuel de série

L'impédance en courant alternatif à la fréquence convenue doit être mesurée avec le courant correspondant au point de «base» défini ci-dessus.

10.3.7 Essais d'échauffement (essais de type)

Les essais d'échauffement doivent être réalisés conformément à la CEI 60289, avec les prescriptions spécifiques indiquées ci-dessous.

Les essais d'échauffement d'une bobine d'inductance doivent être effectués au courant équivalent défini en 10.3.5.

10.3.6.2 Measurement on inductors for direct current

10.3.6.2.1 Type test

Curves of the transient inductance (see 3.3.2) shall be plotted as a function of the current over the whole range of utilisation of the inductor. If the user requires, then the saturation curve shall be agreed between the purchaser and the manufacturer before series production is started.

On the inductor which has successfully passed the above type test, the impedance and inductance with alternating current at an agreed industrial frequency shall be recorded for several values of the current such that the voltage cannot reach dangerous values. The user and manufacturer shall then agree on the choice of a certain point on the impedance curve so plotted; this point shall be adopted as a basis for the subsequent routine tests.

10.3.6.2.2 Routine test

The a.c. impedance at the agreed frequency shall be measured with the current corresponding to the "basic" point defined above.

10.3.6.3 Measurements on inductors for pulsating current

10.3.6.3.1 Type test

The inductance curve shall be determined as a function of current over the entire operating range envisaged. The inductance of air-cored inductors is calculated from the reactance measured with an alternating current at industrial frequency.

In the case of iron-cored inductors, the method of measurement of inductance shall take into account the ripple current superimposed on the direct current, and shall be agreed between user and manufacturer.

Inductance measurements shall be given as a function of the arithmetic mean value of the pulsating current over the whole field of application of the inductor.

On the inductor which has successfully passed the above type test, impedance and inductance with alternating current at an agreed industrial frequency shall be measured for different values of the current such that the voltages do not reach dangerous values.

The user and the manufacturer shall agree on the choice of a certain point on the impedance/current curve so plotted; this point shall be adopted as a basis for the subsequent routine tests. If the user requires, then the saturation curve shall be agreed between the purchaser and the manufacturer before series production is started.

10.3.6.3.2 Routine test

The a.c. impedance at the agreed frequency shall be measured with the current corresponding to the "basic" point defined above.

10.3.7 Temperature-rise tests (type tests)

The temperature-rise test shall be carried out in accordance with IEC 60289, with the specific requirements indicated below.

The temperature-rise tests of an inductor are to be carried out at the equivalent current specified in 10.3.5.

La bobine d'inductance doit être placée dans des conditions admises comme étant équivalentes à celles existant sur le véhicule.

Pour les inductances refroidies par ventilation d'air forcée, les essais doivent être effectués avec le débit d'air (ou la vitesse d'air) spécifié(e) (voir 7.1.3).

Au cours de l'essai, les échauffements des diverses parties des bobines d'inductance ne doivent pas dépasser les limites indiquées au Tableau 3.

Pour les essais d'échauffement à exécuter sur des bobines d'inductance qui ne peuvent être dissociées d'un transformateur de traction, se référer à 10.2.10.

NOTE Pour les bobines d'inductance à courant alternatif non sinusoïdal ou à courant pulsatoire, il se peut qu'il soit délicat de définir le courant équivalent tenant compte des pertes. On recommande donc un essai d'investigation avec une forme de courant aussi proche que possible de celle rencontrée en service.

10.3.8 Essais diélectriques (essais de type et individuels de série)

Les essais diélectriques sur de nouveaux types de bobines d'inductance doivent être effectués chez le constructeur, avec les bobines d'inductance à la température ambiante et munies de leurs accessoires qui pourraient avoir une influence sur ces essais.

Les essais diélectriques comportent:

- des essais de tenue à la tension entre bornes (voir 10.3.8.1);
- des essais par tension de source séparée (voir 10.3.8.2);
- des essais aux ondes de choc (voir 10.3.8.3).

10.3.8.1 Essai de tenue à la tension entre bornes (essais type et individuel de série)

L'objet essentiel de cet essai est le contrôle de l'isolement entre spires, bobines et prises de tous les enroulements concernés.

Cet essai doit être effectué sur les bobines d'inductance qui peuvent être exposées aux contraintes diélectriques entre bornes en service normal ou dans des conditions de défaut.

Pendant cet essai, la cuve et les enroulements autres que celui à tester doivent être connectés comme en service normal.

La valeur de crête $U_{\text{crête}}$ de la tension d'essai doit être le double des valeurs données aux Tableaux 7 et 8. Dans le Tableau 8 la seconde colonne ne s'applique pas. L'essai est réalisé en appliquant entre les bornes une onde de tension dont le temps de montée doit être suffisamment long afin de permettre une répartition régulière du potentiel le long de l'enroulement (par accord entre exploitant et constructeur, l'essai peut être effectué avec une tension alternative dont la fréquence doit être choisie de telle sorte que le courant de mesure ne dépasse pas 1,2 fois la valeur assignée).

10.3.8.2 Essai par tension de source séparée (essai individuel de série)

La tension d'essai doit être appliquée pendant 1 min entre enroulement(s) et masse, puis entre enroulements séparés le cas échéant.

La tension d'essai doit être alternative, de forme pratiquement sinusoïdale et de fréquence comprise entre 16 2/3 Hz et 100 Hz. Sa valeur efficace doit être prise dans les Tableaux 7 et 8 en tenant compte du fait qu'en cas de double isolation, chaque isolation doit résister à la valeur mentionnée ci-dessus. Dans le Tableau 8 la seconde colonne ne s'applique pas.

The inductor shall be placed in conditions deemed to be equivalent to those existing on the vehicle.

For forced-air cooled inductors, the tests shall be carried out with the specified air flow (or velocity) (see 7.1.3).

During the test, the temperature-rises of the various parts of the inductors shall not exceed the limits indicated in Table 3.

For temperature-rise tests to be carried out on inductors which cannot be dissociated from a traction transformer, refer to 10.2.10.

NOTE For inductors operating on non-sinusoidal a.c. or pulsating current, it may be difficult to estimate the equivalent current with reference to losses. Therefore, an investigation test is recommended, with current waveforms closely resembling those in service.

10.3.8 Dielectric tests (type and routine tests)

The dielectric tests on new types of inductors shall be carried out in the manufacturer's workshops with the inductors at room temperature and equipped with those accessories which could influence the tests.

Dielectric tests include:

- voltage between terminals withstand test (see 10.3.8.1);
- separate source voltage withstand test (see 10.3.8.2);
- impulse voltage withstand test (see 10.3.8.3).

10.3.8.1 Voltage between terminals withstand test (type and routine tests)

The main object of this test is to check insulation between turns, coils and tapplings of all the windings concerned.

This test is to be carried out on inductors which may be exposed to dielectric stress between terminals during normal service or failure conditions.

During the test, the tank and the windings other than the one under test shall be connected as in service.

The peak value U_{peak} of the test voltage shall be the double of the values given in Tables 7 and 8. In Table 8 the second column is not applicable. The test is carried out by applying between terminals one pulse voltage, the rise time of which shall be sufficiently long in order to allow a regular distribution of the voltage along the winding (on agreement between the manufacturer and the user, the test may be carried out by applying an alternating voltage, the frequency of which shall be chosen so that the test current does not exceed 1,2 times the rated value).

10.3.8.2 Separate source voltage withstand test (routine test)

The test voltage shall be applied for 1 min between winding(s) and earth, then between separate windings, if any.

The test voltage shall be alternating, as nearly as possible of sinewave form and of a frequency between 16 2/3 Hz and 100 Hz. Its r.m.s. value shall be taken from Tables 7 and 8, taking into account that, in case of double insulation, each insulation shall withstand the above mentioned value. In Table 8 the second column is not applicable.

Par contre, si la bobine d'inductance est insérée dans un circuit d'équipement à redresseurs où les potentiels par rapport à la masse risquent d'atteindre des valeurs élevées en cas d'incident (inductances d'anodes ou inductances de lissage), il convient de se reporter à la CEI 61287 pour définir la tension d'essai plus élevée qu'il convient d'appliquer.

Les tensions d'essais des bobines d'inductance insérées dans le circuit haute tension des véhicules monophasés doivent être fixées par accord entre exploitant et constructeur.

10.3.8.3 Essai aux ondes de choc (essai de type)

Cet essai s'applique seulement aux bobines d'inductance qui sont directement connectées à une caténaire. La tension de choc doit être appliquée à la borne côté ligne de la bobine d'inductance.

Pour les bobines d'inductance connectées à une ligne en courant alternatif, l'essai doit être effectué avec une onde pleine normalisée 1,2/50 μ s dont la valeur de crête de la tension appliquée est celle spécifiée dans le Tableau 7.

Pour les bobines d'inductance connectées à une ligne en courant continu, l'essai peut être réalisé sous réserve d'accord entre l'exploitant et le constructeur. Il convient que la valeur de crête de la tension appliquée tienne compte des caractéristiques des parafoudres, le cas échéant.

Cet essai peut aussi s'appliquer, après accord entre exploitant et constructeur, aux bobines d'inductance à courant continu connectées à un rail conducteur.

La méthode d'exécution des essais, basée sur les prescriptions de la CEI 60076, doit faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

10.3.9 Essais de choc et vibrations (essais d'investigation)

Les essais de fonctionnement sont seulement prescrits pour les parties mobiles associées à la bobine d'inductance.

Les essais de performance qui doivent être répétés après les essais de choc et de vibrations (Article 12 de la CEI 61373), sauf accord contraire entre l'acheteur et le fournisseur, doivent comporter:

- a) la mesure de l'inductance;
- b) la mesure de la tension de source séparée.

Si les résultats de l'essai en a) présentent une différence inférieure à 2 % par rapport aux valeurs mesurées au cours des essais originaux, la bobine d'inductance est considérée avoir satisfait aux essais de chocs et de vibrations. Pour l'essai en b) la tension d'essai doit avoir une valeur égale à 75 % des valeurs utilisées pour l'essai d'origine et il ne doit se produire aucun claquage.

However, if the inductor is inserted in a circuit of rectifier equipment in which the potentials to earth are likely to reach high values in case of faults (anode inductors or smoothing inductors), reference should be made to IEC 61287 in order to define the higher test voltage to be applied.

The test voltages for inductors inserted in the high-voltage circuit of single-phase vehicles shall be settled by agreement between user and manufacturer.

10.3.8.3 Impulse voltage withstand test (type test)

This test is applied only to inductors which are directly connected to an overhead contact line. The impulse voltage shall be applied to the line-side terminal of the inductor.

For inductors connected to an a.c. line, the test shall be carried out with a 1,2/50 μ s standard full wave, the peak value of the applied voltage being that specified in Table 7.

For inductors connected to a d.c. line, the test may be carried out subject to agreement between user and manufacturer. The peak value of the applied voltage should take into account the characteristics of surge arresters, if any.

This test may also be applied, after agreement between user and manufacturer, to inductors for direct current connected to a conductor rail.

The method of carrying out the tests, based on the requirements of IEC 60076, shall be the subject of agreement between user and manufacturer.

10.3.9 Shock and vibration test (type test)

Functional tests are only required for any moveable parts associated with the inductor.

The performance tests to be repeated after shock and vibration tests (Clause 12 of IEC 61373), unless otherwise agreed between purchaser and supplier, shall be:

- a) measurement of inductance;
- b) separate source voltage withstand test.

In case the results of the test in item a) show a difference of less than 2 % in respect to the values measured during original tests, the inductor is considered to have been satisfactorily tested for shock and vibration withstand. For the test in item b), the test voltage shall be 75 % of the values used for the original test and no breakdown shall occur.

Annexe A (informative)

Liste des points pour lesquels un accord entre l'exploitant et le constructeur est nécessaire ou pour lesquels des informations ou spécifications complémentaires doivent être données par l'exploitant ou le constructeur

NOTE La numérotation ci-dessous se réfère aux articles ou paragraphes concernés.

A.1 Points sujets à accord entre l'exploitant et le constructeur

Transformateurs et bobines d'inductance

- 1 Extension du domaine d'application de la norme.
- 1 Conditions de service spéciales et essais éventuels les concernant.
- 5.1 Tension assignée côté ligne.
- 8.2 Tableau 3 – note: Augmentation des limites d'échauffement.
- 8.2 Tableau 3 – Choix de la classe d'utilisation.
- 8.2 Emplacements de thermomètres à vérifier durant les essais d'échauffement.
- 10.1.3 Remplacement d'essais individuels de série par des essais d'échantillonnage.
- 10.1.4 Essais d'investigation et leur influence.

Transformateurs

- 10.2.1 Essais des inductances de transition à prendre en compte avec les transformateurs.
- 10.2.2 Tableau 5 – Tolérances sur la tension de court-circuit des prises autres que la prise principale.
- 10.2.7 Combinaisons en paires des enroulements sur lesquels il faut mesurer les tensions de court-circuit.
- 10.2.7 Mesures supplémentaires de tensions de court-circuit.
- 10.2.11 Dispositions à adopter pour les essais diélectriques.
- 10.2.11 Tableau 7 – note: Augmentation des valeurs de tensions d'essais diélectriques.
- 10.2.11.2 Valeur de la tension d'essai des enroulements qui ne sont pas mis à la terre en permanence à l'intérieur du transformateur.
- 10.2.12 Essai de court-circuit.

Bobines d'inductance

- 10.3.6.2.1 Choix du point «de base» sur la courbe d'impédance des bobines d'inductance à courant continu.
- 10.3.6.3.1 Méthode de mesure des bobines d'inductance à noyau de fer à courant pulsatoire.
- 10.3.6.3.1 Choix du point «de base» sur la courbe d'impédance des bobines d'inductance à courant pulsatoire.
- 10.3.8.2 Valeurs des tensions d'essais par source séparée des bobines d'inductance insérées dans les circuits haute tension.
- 10.3.8.3 Essais aux ondes de choc des bobines d'inductance connectées à une caténaire à courant continu.

Annex A (informative)

List of items for which an agreement between user and manufacturer is needed or for which further information or specifications shall be given by the user or by the manufacturer

NOTE The numbering below refers to the clauses and subclauses involved.

A.1 Items subject to agreement between user and manufacturer

Transformers and inductors

- 1 Extension of the scope of the standard.
- 1 Special service conditions and possible related tests.
- 5.1 Rated line-side voltage.
- 8.2 Table 3 – note: Higher temperature-rise limits.
- 8.2 Table 3 – Choice of duty class.
- 8.2 Locations of thermometers to check during the temperature-rise test.
- 10.1.3 Replacement of routine tests by sampling tests.
- 10.1.4 Investigation tests and their influence.

Transformers

- 10.2.1 Tests on transition inductors to be considered with transformers.
- 10.2.2 Table 5: Tolerance on the impedance voltage for tappings other than the principal tapping.
- 10.2.7 Combination in pairs of windings on which impedance voltages must be measured.
- 10.2.7 Additional measurements of impedance voltages.
- 10.2.11 Arrangements to be adopted for dielectric tests.
- 10.2.11 Table 7 – note 1: Higher dielectric test voltages.
- 10.2.11.2 Voltage value for windings not permanently earthed in the transformer.
- 10.2.12 Short-circuit test.

Inductors

- 10.3.6.2.1 Choice of a "basic" point on the impedance curve for d.c. inductors.
- 10.3.6.3.1 Method of measurement of inductance on pulsating current iron-cored inductors.
- 10.3.6.3.1 Choice of a "basic" point on the impedance curve for pulsating current inductors.
- 10.3.8.2 Separate source test voltages for inductors inserted in high-voltage circuits.
- 10.3.8.3 Impulse voltage withstand test for inductors connected to a d.c. overhead line.

- 10.3.8.3 Essais aux ondes de chocs des bobines d'inductance à courant continu connectées à un rail conducteur à courant continu.
- 10.3.8.3 Méthode d'exécution des essais aux ondes de choc des bobines d'inductance .

A.2 Informations à donner par l'exploitant au constructeur

Transformateurs et bobines d'inductance

- 1 Température de l'air d'entrée.
- 1 Chocs et vibrations.
- 7.1.3 Débit ou vitesse d'air.

Transformateurs

- 10.2.12 Valeur maximale de la puissance de court-circuit.

Bobines d'inductance

- 3.3.4 Tensions assignées du circuit.

A.3 Informations à donner par le constructeur à l'exploitant

Transformateurs et bobines d'inductance

- Garantie des valeurs
- 8.2 Classe thermique des matériaux isolants.

Bobines d'inductance

- 3.3.4 Valeurs assignées et conditions d'exploitation des bobines d'inductance.

10.3.8.3 Impulse voltage withstand test for inductors connected to a d.c. conductor rail.

10.3.8.3 Method of carrying out the impulse voltage withstand tests for inductors.

A.2 Information to be given by user to manufacturer

Transformers and inductors

1 Temperature of the entering air.

1 Shocks and vibrations.

7.1.3 Air flow or velocity.

Transformers

10.2.12 Maximum value of short-circuit power available at the vehicle.

Inductors

3.3.4 Rated voltages of the circuit.

A.3 Information to be given by manufacturer to user

Transformers and inductors

Guarantee of values.

8.2 Thermal class of insulating materials.

Inductors

3.3.4 Rated values and service conditions of the inductors.



Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Switzerland

or

Fax to: **IEC/CSC** at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)
International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 GENEVA 20
Switzerland



Q1 Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: (e.g. 60601-1-1)

.....

Q2 Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard (tick all that apply). I am the/a:

- purchasing agent
- librarian
- researcher
- design engineer
- safety engineer
- testing engineer
- marketing specialist
- other.....

Q3 I work for/in/as a: (tick all that apply)

- manufacturing
- consultant
- government
- test/certification facility
- public utility
- education
- military
- other.....

Q4 This standard will be used for: (tick all that apply)

- general reference
- product research
- product design/development
- specifications
- tenders
- quality assessment
- certification
- technical documentation
- thesis
- manufacturing
- other.....

Q5 This standard meets my needs: (tick one)

- not at all
- nearly
- fairly well
- exactly

Q6 If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: (tick all that apply)

- standard is out of date
- standard is incomplete
- standard is too academic
- standard is too superficial
- title is misleading
- I made the wrong choice
- other

Q7 Please assess the standard in the following categories, using the numbers:

- (1) unacceptable,
- (2) below average,
- (3) average,
- (4) above average,
- (5) exceptional,
- (6) not applicable

- timeliness.....
- quality of writing.....
- technical contents.....
- logic of arrangement of contents
- tables, charts, graphs, figures.....
- other

Q8 I read/use the: (tick one)

- French text only
- English text only
- both English and French texts

Q9 Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....





Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Suisse

ou

Télécopie: **CEI/CSC** +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

1211 GENÈVE 20

Suisse



Q1 Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact:
(ex. 60601-1-1)
.....

Q2 En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?
(cochez tout ce qui convient)
Je suis le/un:

- agent d'un service d'achat
- bibliothécaire
- chercheur
- ingénieur concepteur
- ingénieur sécurité
- ingénieur d'essais
- spécialiste en marketing
- autre(s).....

Q3 Je travaille:
(cochez tout ce qui convient)

- dans l'industrie
- comme consultant
- pour un gouvernement
- pour un organisme d'essais/
certification
- dans un service public
- dans l'enseignement
- comme militaire
- autre(s).....

Q4 Cette norme sera utilisée pour/comme
(cochez tout ce qui convient)

- ouvrage de référence
- une recherche de produit
- une étude/développement de produit
- des spécifications
- des soumissions
- une évaluation de la qualité
- une certification
- une documentation technique
- une thèse
- la fabrication
- autre(s).....

Q5 Cette norme répond-elle à vos besoins:
(une seule réponse)

- pas du tout
- à peu près
- assez bien
- parfaitement

Q6 Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:
(cochez tout ce qui convient)

- la norme a besoin d'être révisée
- la norme est incomplète
- la norme est trop théorique
- la norme est trop superficielle
- le titre est équivoque
- je n'ai pas fait le bon choix
- autre(s)

Q7 Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres
(1) inacceptable,
(2) au-dessous de la moyenne,
(3) moyen,
(4) au-dessus de la moyenne,
(5) exceptionnel,
(6) sans objet

- publication en temps opportun
- qualité de la rédaction.....
- contenu technique
- disposition logique du contenu
- tableaux, diagrammes, graphiques,
figures
- autre(s)

Q8 Je lis/utilise: (une seule réponse)

- uniquement le texte français
- uniquement le texte anglais
- les textes anglais et français

Q9 Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....
.....
.....
.....
.....
.....



1

ISBN 2-8318-7350-9



9 782831 873503

ICS 45.060

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND