

NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD

CEI  
IEC  
310

Deuxième édition  
Second edition  
1991-11

---

---

**Transformateurs de traction et inductances  
de traction**

**Traction transformers and inductors**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 310: 1991

## Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

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

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**  
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

## Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

## Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

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

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

## Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

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

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**  
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**  
Published yearly with regular updates

## Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

## Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

## IEC publications prepared by the same technical committee

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

NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD

CEI  
IEC  
310

Deuxième édition  
Second edition  
1991-11

---

---

**Transformateurs de traction et inductances  
de traction**

**Traction transformers and inductors**

© CEI 1991 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

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

---

---



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

V

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

## SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS .....	6
<b>Articles</b>	
<b>CHAPITRE I: DOMAINE D'APPLICATION ET CONDITIONS DE SERVICE</b>	
1    Domaine d'application .....	8
2    Conditions de service .....	10
<b>CHAPITRE II: DÉFINITIONS</b>	
<b>Section 1 – Définitions relatives aux transformateurs</b>	
3    Classification des transformateurs .....	12
4    Prises .....	14
5    Tensions assignées des enroulements d'un transformateur .....	14
6    Puissances assignées .....	14
<b>Section 2 – Définitions relatives aux inductances</b>	
7    Classification des inductances .....	16
8    Définitions de l'inductance .....	16
9    Valeurs assignées des inductances .....	18
<b>CHAPITRE III: REFROIDISSEMENT</b>	
10   Désignation des transformateurs et inductances selon leur mode de refroidissement .....	18
<b>CHAPITRE IV: LIMITES D'ÉCHAUFFEMENT</b>	
11   Classification des matières isolantes .....	22
12   Limites d'échauffement .....	22
<b>CHAPITRE V: PLAQUES SIGNALÉTIQUES</b>	
13   Plaque signalétique des transformateurs .....	24
14   Plaque signalétique des inductances .....	26
<b>CHAPITRE VI: ESSAIS</b>	
15   Catégories d'essais .....	26

## CONTENTS

	Page
FOREWORD .....	7
Clause	
<b>CHAPTER I: SCOPE AND SERVICE CONDITIONS</b>	
1 Scope .....	9
2 Service conditions .....	11
<b>CHAPTER II: DEFINITIONS</b>	
Section 1 – Definitions for transformers	
3 Classification of transformers .....	13
4 Tappings .....	15
5 Rated voltages of transformer windings .....	15
6 Rated power .....	15
Section 2 – Definitions for inductors	
7 Classification of inductors .....	17
8 Definitions of inductance .....	17
9 Rated values of inductors .....	19
<b>CHAPTER III: COOLING</b>	
10 Identification of transformers and inductors according to cooling method .....	19
<b>CHAPTER IV: LIMITS OF TEMPERATURE RISE</b>	
11 Classification of insulating materials .....	23
12 Limits of temperature rise .....	23
<b>CHAPTER V: RATING PLATES</b>	
13 Transformer rating plate .....	25
14 Inductor rating plate .....	27
<b>CHAPTER VI: TESTS</b>	
15 Categories of tests .....	27

Articles	Pages
<b>Section 1 – Essais des transformateurs</b>	
16 Généralités – Liste des essais .....	28
17 Tolérances .....	30
18 Vérifications préliminaires (essai de série) .....	30
19 Mesure de la résistance des enroulements (essais de type et de série) .....	30
20 Mesure des rapports de transformation (essais de type et de série) .....	32
21 Mesure du courant primaire et des pertes à vide (essais de type et de série) .....	32
22 Mesure des tensions de court-circuit (essais de type et de série) .....	34
23 Mesure des pertes dues à la charge (essais de type et de série) .....	34
24 Détermination des pertes totales (essai de type) .....	36
25 Essai d'échauffement (essai de type) .....	38
26 Essais diélectriques (essais de type et de série) .....	40
27 Essai de tenue au court-circuit (essai de type facultatif) .....	44
28 Essais mécaniques (essais d'investigation) .....	46
<b>Section 2 – Essais des inductances</b>	
29 Liste des essais .....	48
30 Tolérances .....	50
31 Vérifications préliminaires (essai de série) .....	50
32 Mesure de la résistance des enroulements (essai de série) .....	50
33 Détermination des pertes (essai de type) .....	50
34 Mesure de l'inductance (essais de type et de série) .....	52
35 Essais d'échauffement (essais de type) .....	54
36 Essais diélectriques (essais de type et de série) .....	54
37 Essais mécaniques (essais d'investigation) .....	58
<b>Annexe A – Liste des points pour lesquels un agrément 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 .....</b>	<b>62</b>

Clause	Page
<b>Section 1 – Tests on transformers</b>	
16 General – List of tests .....	29
17 Tolerances .....	31
18 Preliminary checks (routine test) .....	31
19 Measurement of winding resistance (type and routine tests) .....	31
20 Measurement of voltage ratios (type and routine tests) .....	33
21 Measurement of no-load primary current and losses (type and routine tests) .....	33
22 Measurement of impedance voltages (type and routine tests) .....	35
23 Measurement of load losses (type and routine tests) .....	35
24 Determination of total losses (type test) .....	37
25 Temperature-rise test (type test) .....	39
26 Dielectric tests (type and routine tests) .....	41
27 Behaviour under short-circuit conditions (optional type test) .....	45
28 Mechanical tests (investigation tests) .....	47
<b>Section 2 – Tests on inductors</b>	
29 List of tests .....	49
30 Tolerances .....	51
31 Preliminary checks (routine test) .....	51
32 Measurement of winding resistance (routine test) .....	51
33 Determination of losses (type test) .....	51
34 Measurement of inductance (type and routine tests) .....	53
35 Temperature-rise tests (type tests) .....	55
36 Dielectric tests (type and routine tests) .....	55
37 Mechanical tests (investigation tests) .....	59
 <b>Annex A - List of items for which an agreement between user and manufacturer is needed or for which further information or specifications shall be given by user or by manufacturer .....</b>	 <b>63</b>

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

---

### TRANSFORMATEURS DE TRACTION ET INDUCTANCES DE TRACTION

#### AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La présente Norme internationale a été établie par le Comité d'Etudes n° 9 de la CEI: Matériel de traction électrique.

Cette deuxième édition remplace la première édition de 1969.

Le texte de cette publication est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
9(BC)280/CMT 165	9(BC)285

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

---

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## TRACTION TRANSFORMERS AND INDUCTORS

## FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This International Standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 9: Electric traction equipment.

This second edition replaces the first edition of 1969.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
9(CO)280/CMT 165	9(CO)285

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

# TRANSFORMATEURS DE TRACTION ET INDUCTANCES DE TRACTION

## CHAPITRE I: DOMAINE D'APPLICATION ET CONDITIONS DE SERVICE

### 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique aux transformateurs de traction des véhicules moteurs à courant monophasé côté ligne et aux divers types d'inductances insérées dans les circuits de puissance ou auxiliaires des véhicules moteurs électriques, telles que:

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

#### NOTES

1 Les prescriptions de la CEI 76 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 à la traction.

2 Pour les transformateurs et les inductances des convertisseurs statiques de puissance, il convient de se reporter également à la CEI 411.

#### 1.1 Extension du domaine d'application

La présente norme peut également être appliquée, après accord entre exploitant et constructeur, aux transformateurs de traction des véhicules à courant 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.

#### 1.2 Exclusions

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 inductances 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.

## TRACTION TRANSFORMERS AND INDUCTORS

---

### CHAPTER I: SCOPE AND SERVICE CONDITIONS

#### 1 Scope

This International Standard applies to traction transformers on single-phase a.c. line-side powered vehicles and to the various types of inductors inserted in the power or auxiliary circuits of electric vehicles, such as:

- 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.

#### NOTES

1 The requirements of IEC 76 are applicable to traction transformers where they do not conflict with this standard, or with the specialized IEC publications dealing with traction applications.

2 For transformers and inductors for static power converters, reference should also be made to IEC 411.

#### 1.1 *Extension of the scope*

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 the vehicles, except for instrument transformers and transformers of a rated output below 1 kVA single-phase or 5 kVA polyphase.

#### 1.2 *Exclusions*

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.

### 1.3 Références normatives

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

CEI 76-1: 1976, *Transformateurs de puissance - Partie 1: Généralités.*

CEI 76-2: 1976, *Transformateurs de puissance - Partie 2: Echauffement.*

CEI 76-3: 1980, *Transformateurs de puissance - Partie 3: Niveaux d'isolement et essais diélectriques. Modification n° 1 (1981).*

CEI 76-4: 1976, *Transformateurs de puissance - Partie 4: Prises et connexions.*

CEI 76-5: 1982, *Transformateurs de puissance - Partie 5: Tenue au court-circuit.*

CEI 85: 1984, *Evaluation et classification thermiques de l'isolation électrique.*

CEI 165: 1973, *Règles pour les essais des véhicules moteurs de traction électrique après achèvement et avant mise en service.*

CEI 349: 1971, *Règles applicables aux machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers.*

CEI 411, *Convertisseurs de puissance pour la traction.*

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

## 2 Conditions de service

2.1 La présente norme s'applique aux appareils utilisés dans les conditions suivantes:

### 2.1.1 Altitude

Sauf spécification contraire, il est admis que la hauteur au-dessus du niveau de la mer à laquelle les appareils sont appelés à travailler en service normal n'excède pas 1 200 m.

### 2.1.2 Température

Sauf s'il en est convenu autrement entre constructeur et exploitant eu égard aux conditions de température nationales, il est supposé que les températures ambiantes auxquelles les appareils sont appelés à fonctionner en service normal restent comprises entre -25 °C et +40 °C, la moyenne annuelle n'excédant pas 25 °C.

Si l'air ambiant extérieur est chauffé avant de pénétrer dans l'échangeur de chaleur du transformateur (ou de l'inductance), cette information et la température de l'air d'entrée doivent être données au constructeur.

### 1.3 Normative references

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

IEC 76-1: 1976, *Power transformers - Part 1: General.*

IEC 76-2: 1976, *Power transformers - Part 2: Temperature rise.*

IEC 76-3: 1980, *Power transformers - Part 3: Insulation levels and dielectric tests. Amendment No. 1 (1981).*

IEC 76-4: 1976, *Power transformers - Part 4: Tappings and connections.*

IEC 76-5: 1982, *Power transformers - Part 5: Ability to withstand short circuits.*

IEC 85: 1984, *Thermal evaluation and classification of electrical insulation.*

IEC 165: 1973, *Rules for the testing of electric rolling stock on completion of construction and before entry into service.*

IEC 349: 1971: *Rules for rotating electrical machines for rail and road vehicles.*

IEC 411, *Power convertors for electric traction.*

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

## 2 Service conditions

2.1 This standard applies to equipment used in the following conditions:

### 2.1.1 Altitude

Unless otherwise specified, the height above sea level at which the equipment is to work in normal operation is assumed not to exceed 1 200 m.

### 2.1.2 Temperature

Unless otherwise agreed upon between user and manufacturer in line with national temperature conditions, the ambient temperature at which the equipment is to work in normal operation lies between  $-25\text{ °C}$  and  $+40\text{ °C}$  with a yearly average not exceeding  $25\text{ °C}$ .

If external ambient air is heated before entering the transformer (or inductor) heat exchanger, this information and the temperature of the entering air shall be given to the manufacturer.

### 2.1.3 Chocs mécaniques et vibrations

En l'absence d'informations concernant le niveau des chocs et vibrations auxquels les appareils sont susceptibles d'être soumis en service, il est supposé que:

- les vibrations sont sinusoïdales, que la fréquence  $f$  de ces vibrations est comprise entre 1 Hz et 50 Hz et que l'amplitude  $a$ , exprimée en millimètres, est donnée en fonction de  $f$  par les équations:

$$a = 25/f \text{ pour } 1 \text{ Hz} < f < 10 \text{ Hz}$$

$$a = 250/f^2 \text{ pour } 10 \text{ Hz} < f < 50 \text{ Hz}$$

- les accélérations maximales des chocs sont les suivantes:
  - . horizontalement (sens de mouvement du véhicule) ..... 30 m/s<sup>2</sup>
  - . transversalement ..... 20 m/s<sup>2</sup>
  - . verticalement ..... 10 m/s<sup>2</sup>

#### NOTES

- 1 En plus des vibrations résultant des conditions d'environnement mécanique, il convient de tenir compte des vibrations qui pourraient aussi résulter des conditions d'environnement électrique.
- 2 Les prescriptions ci-dessus sont données à titre indicatif et sont à considérer comme étant encore à l'étude. Un groupe de travail a été créé pour l'étude des conditions à satisfaire dans le domaine des chocs et des vibrations pour tous les équipements de traction.

### 2.2 Conditions de service spéciales

Des dispositions spéciales fixées par accord entre exploitant et constructeur seront prises lorsque les conditions diffèrent de celles mentionnées en 2.1, par exemple:

- altitude supérieure à 1 200 m;
- température ambiante dépassant +40 °C ou inférieure à -25 °C;
- température moyenne élevée conjuguée avec une forte humidité de l'air;
- pluies torrentielles, tempêtes de sable ou de neige, etc.

La vérification de l'efficacité des dispositions ainsi arrêtées pourra faire éventuellement l'objet d'essais de type facultatifs, pouvant être effectués sur le véhicule lui-même suivant des modalités à fixer par accord entre exploitant et constructeur.

## CHAPITRE II: DÉFINITIONS

### Section 1 – Définitions relatives aux transformateurs

NOTE - Sauf stipulations contraires de la présente section, les définitions générales données par la CEI 76 sont valables pour les transformateurs couverts par la présente norme.

### 3 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.

2.1.3 *Shock and vibration*

In the absence of information concerning the degree of vibration and shock to which the transformers and inductors are likely to be subjected in service, it is to be assumed:

- that the vibrations are sinusoidal, that the frequency *f* of vibration is between 1 Hz and 50 Hz, and that the amplitude *a*, expressed in millimetres, is given as a function of *f*, by the equations:

$$a = 25/f \text{ for } 1 \text{ Hz} < f < 10 \text{ Hz}$$

$$a = 250/f^2 \text{ for } 10 \text{ Hz} < f < 50 \text{ Hz}$$

- that the maximum shock accelerations are:
  - . horizontally (in the direction of motion of the vehicle) ..... 30 m/s<sup>2</sup>
  - . transversely ..... 20 m/s<sup>2</sup>
  - . vertically ..... 10 m/s<sup>2</sup>

NOTES

1 In addition to vibrations arising from the mechanical environment, consideration should be given to vibrations that could also occur as a result of the electrical environment.

2 The above requirements are given as guidance only and should be considered as under consideration. A Working Group has been entrusted with the study of vibration and shock requirements for all traction equipment.

2.2 *Special service conditions*

Special arrangements shall be agreed between user and manufacturer when conditions differ from those mentioned in 2.1, for example:

- altitude exceeding 1 200 m;
- ambient temperature above +40 °C or below -25 °C;
- high average temperature plus high air humidity;
- torrential rains, sand or snow storms, etc.

Checking on the effectiveness of such arrangements could, if required, form the subject of optional type tests which could be carried out on the vehicle itself in accordance with methods to be agreed between user and manufacturer.

CHAPTER II: DEFINITIONS

Section 1 – Definition for transformers

NOTE - Unless otherwise specified in this section, the general definitions given in IEC 76 are valid for the transformers covered by this standard.

3 **Classification of transformers**

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

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

## 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 en régime continu, 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 l'enroulement côté ligne et sur l'enroulement traction, les prises principales doivent être indiquées.

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

Le rapport de transformation à vide doit être précisé pour la prise principale.

## 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 850 donne la liste des tensions nominales des réseaux de traction.

### 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 cet enroulement, lorsque l'enroulement côté ligne du transformateur, sur sa prise principale, est alimenté à sa tension assignée et à la fréquence assignée.

## 6 Puissances assignées

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 kilovoltampère, 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.

## 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.

## 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 950 gives the list of the nominal voltages of traction systems.

### 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 kilovoltampere, of each winding defined as the product of the rated voltage of this winding and its rated current.

The rating of a transformer is its continuous rating.

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 12. Pour un enroulement 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.

## Section 2 – Définitions relatives aux inductances

### 7 Classification des inductances

Selon leur utilisation, les inductances peuvent se classer en:

- *Inductances à courant alternatif*

Inductances traversées par des courants alternatifs, telles que les inductances de transition entre prises de graduateurs, les inductances des circuits de freinage des moteurs monophasés à collecteur, les inductances d'antiparasitage, etc.

- *Inductances à courant continu*

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

- *Inductances à courant ondulé*

Inductances traversées par des courants continus présentant une ondulation périodique notable, telles les inductances de lissage de moteurs de traction, etc.

- *Inductances de convertisseur*

Inductances insérées dans les convertisseurs de puissance pour assurer la commutation ou la protection.

### 8 Définitions de l'inductance

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.

#### 8.1 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.

L'inductance en courant alternatif est la valeur à prendre en compte pour les inductances à courant alternatif et pour les inductances de convertisseur.

#### 8.2 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 peuvent être effectués en courant continu, en opérant soit par fermeture brusque du circuit, soit par mise en court-circuit brusque de l'inductance.

The rated current of a winding is the current this winding can sustain permanently without exceeding the temperature-rise limit stated in clause 12. 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 convertor or for a traction transformer having a secondary for train heating which is only used during the cold season.

## Section 2 – Definitions for inductors

### 7 Classification of inductors

According to their utilization, inductors can be classified as follows:

- *Inductors for alternating current*

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

- *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 or protection.

### 8 Definitions of inductance

Values of inductance for inductors are related to the different classes of utilization 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.

#### 8.1 A.C. inductance

Is 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.

A.C. inductance is the value to take into account for both inductors for alternating current and inductors for convertor.

#### 8.2 Transient inductance

Is 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.

### 8.3 Inductance en courant ondulé

Se déduit de relevés des tensions aux bornes de l'inductance traversée par un courant ondulé spécifié<sup>1)</sup>.

## 9 Valeurs assignées des inductances

Les définitions relatives aux valeurs assignées des inductances sont les mêmes que celles qui sont applicables aux machines tournantes de traction (voir CEI 349).

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

## CHAPITRE III: REFROIDISSEMENT

### 10 Désignation des transformateurs et inductances selon leur mode de refroidissement

#### 10.1 Désignation des symboles

Les transformateurs et inductances seront 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	Symboles
Huile minérale ou liquide isolant synthétique dont le point de feu est $\leq 300$ °C	O
Liquide synthétique avec point de feu $> 300$ °C	K
Liquide isolant synthétique dont le point de feu est supérieur à son point d'ébullition	L
Gaz	G
Eau	W
Air	A
Nature de la circulation	Symboles
Naturelle	N
Forcée (avec huile non dirigée)	F
Forcée (avec huile dirigée)	D

1) Il est rappelé que, conformément à la CEI 411, le taux d'ondulation d'un courant ondulé, exprimé en pour-cent, est défini conventionnellement 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.

### 8.3 Pulsating current inductance

Is derived from a record of the terminal voltage when a specified pulsating current is passing through the inductor<sup>1)</sup>.

## 9 Rated values of inductors

Definitions related to the rated values of inductors are the same as those applicable to traction rotating machines (see IEC 349).

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.

## CHAPTER III: COOLING

### 10 Identification of transformers and inductors according to cooling method

#### 10.1 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 $\leq 300$ °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

1) It should be mentioned that, in accordance with IEC 411, the ripple factor of a pulsating current, expressed as a percentage, is conventionally defined by the formula:

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

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

Dans les transformateurs et les inductances 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.

### 10.2 Disposition des symboles

Les transformateurs et inductances doivent être désignés par quatre symboles pour chacun des modes de refroidissement pour lequel un régime assigné est spécifié par le constructeur.

Les transformateurs et les inductances 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, dans le cas d'enroulements enrobés dans une matière isolante (par exemple résine époxy), avec la surface de l'enrobage.

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 <sup>re</sup> lettre	2 <sup>me</sup> lettre	3 <sup>me</sup> lettre	4 <sup>me</sup> lettre
Désigne l'agent de refroidissement qui est en contact avec les enroulements		Désigne l'agent de refroidissement qui est en contact avec le système de refroidissement extérieur	
Nature de l'agent de refroidissement	Mode de circulation	Nature de l'agent de refroidissement	Mode de circulation

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

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

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

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.

## 10.2 Arrangement of symbols

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

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 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

1st letter	2nd letter	3rd letter	4th 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	
Kind of cooling medium	Kind of circulation	Kind of cooling medium	Kind of circulation

For example, an oil-immersed transformer with forced-directed oil circulation and forced-air circulation would be designed 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

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

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

ANAN

### 10.3 Refroidissement par air

Lorsque les transformateurs ou inductances 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 l'inductance, le débit (ou la vitesse) d'air sur lequel le régime nominal de l'appareil est basé doit être indiqué par l'exploitant.

## CHAPITRE IV: LIMITES D'ÉCHAUFFEMENT

### 11 Classification des matières isolantes

Les différentes classes d'isolants solides actuellement utilisés pour les enroulements des transformateurs et inductances auxquels s'applique la présente norme sont indiquées par le tableau 3 de l'article 12. Elles sont définies dans la CEI 85.

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

### 12 Limites d'échauffement

Les échauffements par rapport à l'air ambiant des organes des transformateurs et des inductances soumis aux essais d'échauffement ne doivent pas dépasser les valeurs données dans le tableau 3 (page 24).

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

- par la méthode de variation de résistance pour les enroulements;
- 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 inductances ne doit en aucun cas atteindre une valeur susceptible d'endommager ces parties ou les parties adjacentes.

### 10.3 *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.

## CHAPTER IV: LIMITS OF TEMPERATURE RISE

### 11 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 apply are listed in table 3 of clause 12. They are defined in IEC 85.

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.

### 12 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 (page 25).

The temperature rises of table 3 apply to temperatures measured:

- by the method of variation of resistance for the windings;
- by thermometer (bulb or electric) 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.

Tableau 3 - Limites d'échauffement (K)

Type de l'appareil	Partie de l'appareil	Classe thermique des matériaux isolants solides des enroulements						Remarques
		A	E	B	F	H	200	
Transformateurs et inductances immergés dans un liquide isolant								Voir notes
	Enroulements	75	100	115	140	160	180	1, 2
	Huile minérale ou équivalent	65	-	-	-	-	-	2
Huile silicone ou autres fluides de caractéristiques thermiques similaires	150	150	150	150	150	150		
Transformateurs et inductances de type sec refroidis par air ou par un gaz spécial	Enroulements	85	105	130	155	180	200	3, 4

**NOTES**

- 1 Dans le cas de flux d'huile dirigé, les valeurs peuvent être majorées de 5 K.
- 2 Des limites plus élevées peuvent être adoptées après accord entre exploitant et constructeur dans le cas d'utilisation d'isolants spéciaux (papier stabilisé à faible hygroscopicité, papier stable à haute température, liquides isolants spéciaux, etc.).
- 3 Les limites d'échauffement du gaz et des enroulements doivent être définies par accord entre exploitant et constructeur, compte tenu des caractéristiques du gaz utilisé. Pour les enroulements, les limites ne doivent en aucun cas dépasser les valeurs indiquées dans le tableau.
- 4 De plus, les valeurs spécifiées ne doivent être dépassées en aucun point du transformateur ou de l'inductance. Les endroits à vérifier durant les essais doivent être déterminés par accord entre constructeur et exploitant.

## CHAPITRE V: PLAQUES SIGNALÉTIQUES

### 13 Plaque signalétique des transformateurs

Chaque transformateur doit être muni d'une plaque signalétique donnant au minimum les indications ci-après:

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

Table 3 – Limits of temperature rise (K)

Type of the apparatus	Part of the apparatus	Thermal class of the solid insulating materials of the windings						Remarks
		A	E	B	F	H	200	
Transformers and inductors immersed in an insulating liquid								See notes
	Windings	75	100	115	140	160	180	1, 2
	Mineral oil or similar	65	-	-	-	-	-	2
	Silicon oil or other fluid of similar thermal characteristics	150	150	150	150	150	150	
Dry-type transformers and inductors cooled by air or by a special gas	Windings	85	105	130	155	180	200	3, 4

**NOTES**

- For directed oil flow, the values may be increased by 5 K.
- Higher limits may be adopted after 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 the gas and for the 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 in any case the values indicated in the table.
- In addition, specified values are not to be exceeded in any location of the transformer or inductor. Locations to check during the tests are to be fixed by agreement between user and manufacturer.

## CHAPTER V: RATING PLATES

## 13 Transformer rating plate

Each transformer shall be provided with a rating plate showing at least the items indicated below:

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

## 14 Plaque signalétique des inductances

Chaque inductance doit être munie d'une plaque signalétique donnant au minimum les indications ci-après:

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

## CHAPITRE VI: ESSAIS

### 15 Catégories d'essais

#### 15.1 Généralités

Il existe trois catégories d'essais:

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

La description des différents essais appartenant à chaque catégorie est donnée dans le corps du texte.

#### 15.2 Essais de type

Les essais de type sont effectués sur un seul appareil d'un modèle donné.

Les appareils de fabrication suivie sont considérés comme ayant satisfait aux essais de type tout en étant dispensés de subir 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.

#### 15.3 Essais de série

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

## 14 Inductor rating plate

Each inductor shall be provided with a rating plate showing at least the items indicated below:

- 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;
- identification of cooling method;
- total mass.

## CHAPTER VI: TESTS

### 15 Categories of tests

#### 15.1 *General*

There are three categories of tests:

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

Descriptions of the different tests belonging to each category are given in the following text.

#### 15.2 *Type tests*

Type tests are carried out on a single piece of equipment of a given design.

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 only to be carried out if they have been expressly specified in the order.

#### 15.3 *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 out of the order.

#### 15.4 Essai 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 agrément contraire ne soit spécifié dans la commande.

### Section 1 – Essais des transformateurs

#### 16 Généralités – Liste des essais

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

Autant que possible, les essais des inductances 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 inductances en tant qu'appareils séparés, afin de s'assurer qu'elles satisfont bien à toutes les exigences de la présente norme.

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

Nature de l'essai	Article ou paragraphe		
	Type	Série	Investigations
Vérifications préliminaires	-	18	-
Mesure de la résistance des enroulements	19	19	-
Mesure des rapports de transformation	20	20	-
Mesure du courant primaire et des pertes à vide	21,1	21,2	-
Mesure des tensions de court-circuit	22	22	-
Mesure des pertes dues à la charge	23	23	-
Détermination des pertes totales	24	-	-
Echauffement	25	-	-
Diélectrique:			
- par tension induite	-	26,1	-
- par tension appliquée	-	26,2	-
- aux ondes de choc pleine onde	26,3	-	-
Tenue au court-circuit (facultatif)	27	-	-
Tenue aux vibrations	-	-	28,1
Tenue aux chocs	-	-	28,2

#### 15.4 Investigation test

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.

### Section 1 – Tests on transformers

#### 16 General – List of tests

The checks, measurements and tests to be made on traction transformers are indicated in table 4 below, 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.

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

Nature of test	Clause or subclause		
	Type	Routine	Investigation
Preliminary checks	-	18	-
Measurement of winding resistance	19	19	-
Measurement of voltage ratios	20	20	-
Measurement of no-load primary current and losses	21,1	21,2	-
Measurement of impedance voltages	22	22	-
Measurement of load losses	23	23	-
Determination of total losses	24	-	-
Temperature rise	25	-	-
Dielectric:			
- induced voltage withstand	-	26,1	-
- separate source voltage withstand	-	26,2	-
- full wave impulse voltage withstand	26,3	-	-
Behaviour under short-circuit conditions (optional)	27	-	-
Vibration withstand	-	-	28,1
Shock withstand	-	-	28,2

Pour les essais des transformateurs de traction faisant partie d'un convertisseur statique, se référer en outre à la CEI 411.

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 165 si certains essais sont considérés comme nécessaires.

## 17 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 article)	Tolérances
1 a) Pertes totales b) Pertes partielles (articles 21, 23, 24)	+10 % des pertes totales +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) (article 20)	La plus faible des valeurs suivantes: $\pm 0,5$ % du rapport spécifié, ou un pourcentage du rapport spécifié égal à $1/10$ de la tension de court-circuit réelle, exprimée en pourcentage, à la charge assignée
3 Tension de court-circuit (à la prise principale) (article 22)	$\pm 15$ % de la tension de court-circuit spécifiée pour cette prise <sup>1)</sup>
4 Courant à vide (article 21)	+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.	

## 18 Vérifications préliminaires (essai de série)

On vérifiera le schéma, le marquage des bornes, les polarités et les indications de la plaque signalétique.

## 19 Mesure de la résistance des enroulements (essais de type et de série)

La résistance de chacun des enroulements entre bornes accessibles est mesurée à froid en courant continu. Se référer à la CEI 76 pour les précautions à prendre en vue de réduire au minimum les effets de self-induction et de déterminer correctement la température des enroulements.

For tests on traction transformers forming a part of a static convertor, reference should also be made to IEC 411.

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 165 if any tests are considered necessary.

## 17 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 clause)	Tolerance
1 a) Total losses b) Component losses (clauses 21, 23, 24)	+10 % of the total losses +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 (clause 20)	$\pm 0,5$ % 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 less
3 Impedance voltage (for principal tapping) (clause 22)	$\pm 15$ % of the declared impedance voltage for that tapping <sup>1)</sup>
4 No-load current (clause 21)	+30 % of the declared no-load current
1) For other tappings, tolerance shall be subject to agreement between user and manufacturer	

## 18 Preliminary checks (routine test)

A check shall be made of the circuit diagram, terminal markings, polarities and the particulars on the rating plate.

## 19 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 76 for the precautions to be taken for the minimization of self-inductive effects and the proper determination of the temperature of the windings.

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 du dit 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 de série:

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

## 20 Mesure des rapports de transformation (essais de type et de série)

Les divers rapports de transformation entre paires d'enroulements doivent être mesurés pour chacune des prises accessible 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.

## 21 Mesure du courant primaire et des pertes à vide (essais de type et 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, on se référera à la CEI 76 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 gradateur 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.

### 21.1 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.

### 21.2 Essai de série

Les mesures doivent être faites comme en 21.1 ci-dessus, mais seulement pour la tension assignée  $U$  et pour la prise principale.

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.

## 20 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 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.

## 21 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 76 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.

### 21.1 Type test

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

### 21.2 Routine test

The measurements shall be made as in 21.1 above, but only for rated voltage  $U$  and for the principal tapping.

## 22 Mesure des tensions de court-circuit (essais de type et 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 sera fixé par accord entre exploitant et constructeur. Les essais de type devront fournir 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 76 pour les combinaisons suivantes des enroulements:

- a) enroulement côté ligne et ensemble des enroulements de traction (essais de type et 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 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 de série, les mesures pourront 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 nominale en utilisant une source de tension pratiquement sinusoïdale. La mesure peut être effectuée avec un courant quelconque compris entre 25 % et 100 % du courant nominal. En aucun cas, la tension appliquée à un enroulement ne doit dépasser 50 % de la tension nominale dudit enroulement ou le courant dans cet enroulement excéder sa valeur nominale.

On doit corriger la valeur obtenue à l'essai en la multipliant par le rapport du courant nominal au courant utilisé pour l'essai. La valeur ainsi obtenue doit être ramenée à la température de référence appropriée indiquée à l'article 24.

## 23 Mesure des pertes dues à la charge (essais de type et de série)

### 23.1 Généralités

Les pertes dues à la charge doivent être relevées au cours des essais de type et de série pour la mesure des tensions de court-circuit (article 22) 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 à l'article 24 en tenant compte du fait que les pertes Joules  $I^2R$  ( $R$  = résistance en courant continu) varient en raison directe de la résistance et les autres pertes en raison inverse. La résistance doit être déterminée comme indiqué à l'article 19.

## 22 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 76 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 near, 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 the 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 clause 24.

## 23 Measurement of load losses (type and routine tests)

### 23.1 General

Load losses shall be recorded during the impedance voltage type and routine tests (clause 22) 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 clause 24, 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 clause 19.

Les pertes dues à la charge seront 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 411.

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.

### 23.2 Essai de type

Les pertes dues à la charge doivent être déterminées pour les combinaisons a) et b) définies en 23.1. 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.

### 23.3 Essai de série

Les pertes dues à la charge doivent être déterminées pour la combinaison a) seulement en se limitant à la prise principale.

## 24 Détermination des pertes totales (essai de type)

Les pertes totales sont égales à la somme des pertes à vide (article 21) et des pertes dues à la charge (article 23) après correction de ces dernières les ramenant à la température de référence des enroulements fixée au tableau 6.

Tableau 6 – Températures de référence

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

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.

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 411.

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.

### 23.2 Type test

Load losses shall be determined for combinations a) and b) defined in 23.1. 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.

### 23.3 Routine test

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

## 24 Determination of total losses (type test)

The total losses are the sum of the no-load losses (clause 21) and the load losses (clause 23) after correction of the latter to the appropriate reference temperature of the windings, which is given in table 6.

Table 6 – Reference temperatures

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

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.

Les pertes totales d'un transformateur de traction sont calculées pour la combinaison de la charge traction nominale et des charges nominales 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.

## 25 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 visés en 10.3, l'essai doit être exécuté avec le débit d'air (ou la vitesse) spécifié.

L'une quelconque des méthodes d'essai indiquées dans la CEI 76 peut être utilisée au choix du constructeur.

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

On se référera également à la CEI 76 pour:

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

Les essais d'échauffement par la méthode du court-circuit des transformateurs immergés dans un isolant liquide seront effectués comme suit: Tous les enroulements secondaires de traction sont connectés en parallèle et mis en court-circuit. Toutefois, les enroulements secondaires de traction indépendants fonctionnant normalement en série doivent être, pendant cet essai, connectés en série et mis en court-circuit. Tous les autres secondaires restent à circuit ouvert. La tension d'alimentation côté ligne est réglée de façon à obtenir le courant secondaire total nominal, le transformateur étant connecté sur sa prise principale. Toutefois, le transformateur pourra être connecté sur une autre prise si l'exploitant et le constructeur estiment que cela est plus représentatif des conditions de service présumées.

A l'exception de l'enroulement pour le chauffage du train, la puissance des enroulements auxiliaires est généralement faible par rapport à la puissance des enroulements de traction. Les suppléments d'échauffement des enroulements principaux dus aux pertes en charge des enroulements auxiliaires peuvent être obtenus par le calcul.

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.

## 25 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 10.3, the test shall be carried out with the specified air flow (or velocity).

Anyone of the test methods given in IEC 76 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 76 for:

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

Temperature-rise tests by the short-circuit method on transformers immersed in an insulating liquid shall be carried out as follows: All traction secondary windings are connected in parallel and short-circuited. However, independent traction secondary windings which normally operate in series shall be connected in series for this test and have their other terminals short-circuited. All other secondaries are open-circuited. Line-side supply voltage is adjusted in order to obtain the total rated traction secondary current, the transformer being connected on its principal tapping. However, the transformer may be connected on another tapping if this is regarded by user and manufacturer as more representative of the expected service conditions.

Except for the train heating winding, the power of the auxiliary windings is usually small in relation to the traction load. Additional temperature rises of the main windings of the transformer due to load losses of auxiliary windings can be obtained by calculation.

Cependant, si la puissance de certains enroulements auxiliaires est importante, l'essai pourra être complété comme suit en vue d'obtenir des résultats plus complets et plus précis: l'enroulement auxiliaire est mis en court-circuit, tous les autres secondaires restant à circuit ouvert. La tension d'alimentation côté ligne est réglée en sorte que le courant dans l'enroulement auxiliaire considéré soit égal à sa valeur assignée.

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, se référer en outre à la CEI 411. Dans tous les cas, les valeurs finales des échauffements des divers organes du transformateur ne doivent pas excéder les limites indiquées au tableau 3.

## 26 Essais diélectriques (essais de type et 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 26.1);
- des essais par tension appliquée à fréquence industrielle (voir 26.2);
- des essais aux ondes de choc pleine onde (voir 26.3).

Pour les essais par tension induite et par tension appliquée, les tensions d'essais à utiliser sont données, en valeur efficace, par les tableaux 7 et 8 ci-après. La mesure directe de la tension efficace pourra être remplacée par la mesure de la valeur de crête de la tension; cette valeur de crête divisée par  $\sqrt{2}$  devra être égale à la valeur efficace indiquée dans les tableaux.

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

Tension nominale $U$ du réseau de traction (volts)	Tension d'essai $U'$ (volts)	
	Essai par tension induite (valeur efficace)	Essai aux ondes de choc (valeur de crête)
15 000	38 000	95 000
25 000	60 000	150 000
50 000	120 000	300 000

### NOTES

1 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.

2 En fonction des caractéristiques des limiteurs de surtension, s'il en est utilisé, les tensions d'essais pour les essais aux ondes de choc pourront être réduites par accord entre l'exploitant et le constructeur.

However, if the power of certain auxiliary secondary windings is large, the test may be completed as follows in order to obtain more complete and accurate results: the auxiliary winding shall be short-circuited, all other secondaries remaining open-circuited. Line-side voltage shall be adjusted in order to obtain the rated current in the auxiliary winding concerned.

For the temperature-rise tests on transformers forming a part of a static convertor, and especially for the determination of thermally equivalent currents in their windings, reference should also be made to IEC 411. In any case, the final values of the temperature rise of the various parts of the transformer shall not exceed the limits indicated in table 3.

## 26 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 26.1);
- separate source voltage withstand tests at industrial frequency (see 26.2);
- full wave impulse voltage withstand tests (see 26.3).

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 below. 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 $U$ of the traction system (volts)	Test voltage $U'$ (volts)	
	Induced voltage test (r.m.s. value)	Impulse voltage test (peak value)
15 000	38 000	95 000
25 000	60 000	150 000
50 000	120 000	300 000

**NOTES**

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

2 According to the characteristics of surge arresters, if used, the test voltages for the impulse voltage test may be reduced by agreement between the user and the manufacturer.

**Tableau 8 - Tensions d'essais diélectriques  $U'$  en volts  
(par tension induite ou par tension appliquée) des autres enroulements  
(valeurs efficaces)**

Transformateurs de traction et auxiliaires dont un enroulement est directement relié à la ligne de contact	Autres transformateurs
$U' \text{ eff.} = 2,25 U + 2\ 000 \text{ V}$ avec un minimum de 2 500 V	$U' \text{ eff.} = 2 U + 1\ 000 \text{ V}$ avec un minimum de 1 500 V
NOTE - Dans les formules ci-dessus, $U$ est la tension assignée de l'enroulement considéré (voir article 5).	

### 26.1 Essai par tension induite (essai 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 appliquée 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., on se référera à la CEI 76. 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.

On s'assurera, lors de l'essai d'un enroulement par tension induite, que les tensions auxquelles se trouvent portés les différents enroulements couplés magnétiquement n'excèdent pas les valeurs indiquées au tableau 7.

### 26.2 Essai par tension appliquée (essai 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 appliquée doit être effectué en utilisant une source séparée fournissant une tension alternative monophasée, qu'on appliquera 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, on se référera à la CEI 76.

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 appliquée. La valeur de la tension d'essai sera déterminée par accord entre l'exploitant et le constructeur, en tenant compte du niveau d'isolement de l'extrémité côté terre de l'enroulement.

### 26.3 Essai aux ondes de choc en onde pleine (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;
- la borne côté 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 sera connecté à la prise principale.

Les essais de choc doivent être effectués avec l'onde pleine normalisée 1,2/50, 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 référera à la CEI 76. Les essais en ondes coupées ne sont pas recommandés.

## 27 Essai de tenue au court-circuit (essai de type facultatif)

### 27.1 Généralités

Le transformateur doit pouvoir supporter sans dommage les effets mécaniques et thermiques des court-circuits pouvant se produire entre les bornes de tous les enroulements secondaires. Pour les enroulements auxiliaires, on devra tenir compte de la présence d'impédances et/ou des dispositifs de protection (fusibles, commutateurs, ...) 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 850.

### 27.2 Evaluation thermique

Du point de vue thermique, le transformateur doit être calculé pour supporter pendant 3 s le courant de court-circuit symétrique susceptible de s'établir selon les conditions de 27.1.

Il n'est pas prévu d'effectuer des essais de court-circuit pour vérifier la capacité thermique des enroulements du transformateur. Si l'exploitant l'exige, les températures atteintes par les enroulements doivent être calculées pour le courant de court-circuit symétrique défini ci-dessus supposé maintenu pendant 3 s; se référer à la CEI 76 pour le détail des calculs.

### 27.3 Effets mécaniques

Les essais de court-circuit doivent être limités à la vérification de la tenue mécanique. Ils consistent à faire deux essais successifs avec la tension primaire à vide côté ligne et la puissance du court-circuit, comme spécifié en 27.1: la durée de chaque essai doit être fixée d'entente entre constructeur et exploitant - en rapport avec les caractéristiques des dispositifs de protection - à une valeur d'au moins 0,1 s, l'asymétrie du court-circuit étant en accord avec la CEI 76.

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

Traction and auxiliary transformers with one winding directly connected to the contact line	Other transformers
$U' \text{ r.m.s.} = 2,25 U + 2\,000 \text{ V}$ with a minimum of 2 500 V	$U' \text{ r.m.s.} = 2 U + 1\,000 \text{ V}$ with a minimum of 1 500 V
NOTE - In the above formulae, $U$ is the rated voltage of the winding concerned in volts (see clause 5).	

### 26.1 Induced voltage withstand test (routine test)

The main object of this test is to check insulation between turns, coils and tappings 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 76. 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.

### 26.2 Separate source voltage withstand test (routine test)

This test is applicable on 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 a 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 76.

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.

### 26.3 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; 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 76. Tests with chopped waves are not recommended.

## 27 Behaviour under short-circuit conditions (optional type test)

### 27.1 General

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 850.

### 27.2 Thermal assessment

From the thermal capacity viewpoint, the transformer shall be designed to withstand for a period of 3 s the symmetrical short-circuit current capable of being produced by the conditions specified in 27.1.

No provision is made for short-circuit tests for checking the thermal capacity of transformer windings. At the request of the user, winding temperatures shall be calculated for the symmetrical short-circuit current defined above, maintained for a period of 3 s; for details of these calculations, refer to IEC 76.

### 27.3 Mechanical effects

Short-circuit tests shall be confined to checking the mechanical performance. They shall consist of two successive tests with no-load line-side voltage and short-circuit power as specified in 27.1: the duration of each test shall be fixed by agreement between user and manufacturer - with due regard to the characteristics of the protective device - at a value of at least 0,1 s, the short-circuit asymmetry to be in accordance with IEC 76.

Si le transformateur possède un réglage haute tension, les deux essais de court-circuit aux bornes du secondaire traction doivent être faits comme suit: le premier sur la prise à tension maximale et le second sur la prise intermédiaire considérée devoir conduire aux conditions les plus sévères pour le transformateur.

Les essais sur chaque enroulement secondaire doivent être exécutés successivement à des intervalles de temps fixés d'entente entre exploitant et constructeur.

Après achèvement des essais de court-circuit, on doit procéder au relevé des pertes à vide et à la mesure des tensions de court-circuit conformément à 21.2 et à l'article 22. Si les valeurs relevées ne présentent pas de différences appréciables avec celles qui ont été relevées dans les mêmes conditions avant exécution des essais de court-circuit, le transformateur doit être considéré comme ayant satisfait aux essais de court-circuit. Dans le cas contraire, le transformateur ne pourra être considéré comme ayant satisfait aux essais que si, après décuilage, il n'est constaté aucune déformation visible, ni déplacement ni relâchement des enroulements, des isolations ou des dispositifs de calage.

## 28 Essais mécaniques (essais d'investigation)

### 28.1 Essai de tenue aux vibrations

Les valeurs des contraintes mécaniques résultant des accélérations définies en 2.1.3 doivent surtout être utilisées en tant que critères d'études. Il est bien entendu que peu de laboratoires sont capables de réaliser un essai de vibration aux niveaux spécifiés sur des équipements lourds tels que des transformateurs principaux.

Si l'essai de tenue aux vibrations a été expressément spécifié à la commande, le transformateur, muni de ses accessoires et auxiliaires (tels que dispositifs d'absorption de choc si le transformateur est conçu pour fonctionner avec) doit être soumis aux essais de 28.1.1 et 28.1.2.

Pour les essais de 28.1.1 et 28.1.2, le transformateur doit être fixé en position convenable sur une machine produisant des vibrations sinusoïdales d'amplitude et de fréquences réglables.

#### 28.1.1 Détermination des fréquences de résonance

Afin de déterminer l'existence éventuelle de fréquences critiques produisant des résonances, on doit faire varier la fréquence progressivement sur toute la plage définie en 2.1.3 durant une période de temps au moins égale à 4 min, l'amplitude des oscillations étant celle qui doit correspondre à la fréquence concernée.

#### 28.1.2 Essai de vibrations forcées

Le transformateur doit être ensuite soumis à un essai de vibrations entretenues pendant 2 h:

- soit à une fréquence critique si une telle fréquence a été détectée au cours de l'essai de 28.1.1;
- soit à la fréquence de 10 Hz dans le cas contraire.

Dans les deux cas, l'amplitude de la table vibrante doit être ajustée à la valeur correspondant à la fréquence concernée (voir 2.1.3).

If the transformer has high-voltage control, the two short-circuit tests at the terminals of the traction secondary shall be made as follows: the first at the highest voltage tap and the second on the intermediate tap considered to give the most severe conditions for the auto-transformer.

The tests on each of the secondary windings shall be made successively at intervals of time to be agreed between user and manufacturer.

On completion of the short-circuit tests, the no-load losses and impedance voltages shall be determined in accordance with 21.2 and clause 22. If the values determined do not differ significantly from those determined in the same conditions before making the short-circuit tests, the transformer shall be considered as having passed the short-circuit tests. If this is not the case, the transformer shall only be considered to have passed the tests if, after removal from its tank, inspection reveals no observable deformation, movement, or slackening of any winding, insulation or clamping devices.

## 28 Mechanical tests (investigation tests)

### 28.1 *Vibration withstand test*

The values of mechanical stresses arising from the accelerations defined in 2.1.3 are essentially to be used as design criteria. It should be understood that a vibration test at the specified levels on large heavy components such as main transformers can be carried out perhaps only by a few laboratories.

If the vibration withstand test has been expressly specified in the order, the transformer, together with its mounting arrangements and auxiliaries (including shock absorbing devices, if the transformer is designed for mounting on such devices) shall be subjected to the tests of 28.1.1 and 28.1.2.

For the tests of 28.1.1 and 28.1.2, the transformer shall be secured in a suitable position to a machine producing vibrations of sinusoidal form with adjustable amplitude and frequency.

#### 28.1.1 *Determination of resonant frequencies*

In order to determine the possible existence of critical frequencies producing resonance, the frequency shall be varied progressively over the whole range mentioned in 2.1.3 within a time of not less than 4 min, the amplitude of the oscillations being that indicated for the frequency.

#### 28.1.2 *Tests with forced vibrations*

The transformer shall then be submitted to a test with sustained vibrations for a period of 2 h:

- either at the critical frequency, if any such well-defined frequency has been detected in the course of the test of 28.1.1;
- otherwise at a frequency of 10 Hz.

In both cases, the amplitude of the vibrating table shall be adjusted to the value corresponding to the frequency concerned (see 2.1.3).

Par accord entre constructeur et acheteur, le transformateur peut être soumis à des vibrations forcées pendant un temps plus long (25 h à 50 h).

**28.2 Essai de tenue aux chocs**

Si cet essai a été expressément spécifié à la commande, le transformateur doit être soumis à une série de trois chocs successifs, correspondant chacun à une accélération maximale de 30 m/s<sup>2</sup> dans une direction correspondant au sens de déplacement du véhicule sur lequel il est destiné à être monté.

**28.3 Sanctions**

Les essais de chocs et vibrations seront considérés comme satisfaisant s'ils ne donnent lieu à aucune détérioration ni à aucune anomalie de fonctionnement. Après ces essais, le transformateur doit subir les essais électriques avec succès et en particulier l'essai d'isolement.

**Section 2 – Essais des inductances**

**29 Liste des essais**

Les vérifications, mesures et essais à effectuer sur les inductances sont indiqués dans le tableau 9 ci-après 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 inductances**

Nature de l'essai	Article		
	Type	Série	Investigation
Vérifications préliminaires	-	31	-
Mesure de la résistance des enroulements	-	32	-
Mesure des pertes	33	-	-
Mesure de l'inductance	34	34	-
Echauffement	35	-	-
Diélectrique			
- de tenue à la tension entre bornes	36,1*	36,1*	-
- par tension appliquée	-	36,2	-
- aux ondes de choc	36,3*	-	-
Tenue aux vibrations	-	-	37,1
Tenue aux chocs	-	-	37,2

NOTE - Les essais marqués \* ne sont requis que dans les cas d'applications spécifiques.

Upon agreement between manufacturer and purchaser the transformer may be subjected to forced vibrations for a longer period (25 h to 50 h).

### 28.2 Shock withstand test

If this test has been expressly specified in the order, the transformer shall be submitted to a series of three successive shocks, each corresponding to a maximum acceleration of 30 m/s<sup>2</sup>, in the direction corresponding to the longitudinal movement of the vehicle on which it is to be mounted.

### 28.3 Sanctions

The shock and vibration tests are considered to be satisfactory if there is no resulting damage or abnormality in operation. The transformer so tested shall be able to successfully withstand the electrical tests and, in particular, the insulation test.

## Section 2 – Tests on inductors

### 29 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 and subclauses 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	-	31	-
Measurement of winding resistance	-	32	-
Measurement of losses	33	-	-
Measurement of inductance	34	34	-
Temperature rise	35	-	-
Dielectric			
- applied voltage between terminal withstand	36,1*	36,1*	-
- separate source voltage withstand	-	36,2	-
- impulse voltage withstand	36,3*	-	-
Vibration withstand	-	-	37,1
Shock withstand	-	-	37,2

NOTE - The tests marked \* are only required for specific applications.

### 30 Tolérances

Le tableau 10 donne les tolérances applicables à diverses grandeurs. Une première colonne indique les tolérances «de calcul» pour la comparaison des valeurs relevées lors des essais de type aux valeurs qui auraient été spécifiées comme valeurs nominales ou qui auraient fait l'objet d'une garantie du constructeur se référant à la présente norme.

Une seconde colonne indique les tolérances de «fabrication» pour la comparaison de la valeur relevée lors des essais de série d'une inductance quelconque de la commande à la valeur «de base». Cette valeur «de base» doit être prise égale à la moyenne des mesures faites sur un certain nombre d'inductances: 4 à 10 suivant l'importance de la série.

Tableau 10 – Tolérances

Grandeur (article)	Tolérances	
	De calcul	De fabrication
1 Résistance des enroulements (article 32)		±10 %
2 Pertes (article 33)	En courant alternatif +10 %	-
3 Inductance (article 34)	Avec le courant approprié ±15 %	En courant alternatif ±10 %

### 31 Vérifications préliminaires (essai de série)

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

### 32 Mesure de la résistance des enroulements (essai de série)

La résistance des enroulements est mesurée en courant continu à la température ambiante avec les précautions d'usage pour réduire au minimum les effets de self-induction. Les résultats doivent être ramenés par correction à la température de référence (voir article 24).

### 33 Détermination des pertes (essai de type)

On mesurera les pertes en courant alternatif à fréquence industrielle; pour les inductances à courant continu ou pulsé, les pertes pourront aussi être mesurées en courant continu.

Le courant d'essai doit être un courant équivalent, calculé comme étant la valeur efficace du courant réel en tenant compte des harmoniques (ou de la forme d'onde) spécifiés par l'exploitant, et prenant en compte les pertes par courants de Foucault.

### 30 Tolerances

Table 10 gives tolerances applicable to several quantities. A first column indicates the "design" tolerances for comparison of values recorded during type tests with the values which may have been specified as rated values or guaranteed by the manufacturer with reference to this standard.

A second column indicates the "manufacturing" tolerances for the comparison of the value recorded during the routine tests of any inductance of the order with the "basic" value. This "basic" value shall be taken as being equal to the average of the measurements made on a certain number of inductors: four to ten according to the size of the order.

Table 10 – Tolerances

Quantity (clause)	Tolerances	
	Design	Manufacturing
1 Winding resistance (clause 32)	-	±10 %
2 Losses (clause 33)	With a.c. +10 %	
3 Inductance (clause 34)	With the appropriate current ±15 %	With a.c. ±10 %

### 31 Preliminary checks (routine test)

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

### 32 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 results shall be corrected to the reference temperature (see clause 24).

### 33 Determination of losses (type test)

The losses shall be measured with an alternating current at industrial frequency; for direct or pulsating current inductors, the losses may also be measured with direct current.

The test current shall be an equivalent current, calculated as the r.m.s. value deriving from the harmonic content (or the waveshapes) specified by the user, and taking into account the eddy current losses.

Les pertes seront calculées par la formule  $I^2 R$ , la résistance  $R$  étant ramenée à la température de référence.

### 34 Mesure de l'inductance (essais de type et de série)

En l'absence de garantie fixée à la commande, la valeur de l'inductance devra être spécifiée par le constructeur avant exécution des essais.

En règle générale, les essais de type doivent être exécutés avec un courant dont la nature correspond au type de l'inductance, tandis que les essais de série doivent être exécutés en courant alternatif.

#### 34.1 *Mesure sur les inductances à courant alternatif et sur les inductances de convertisseurs*

##### 34.1.1 *Essai de type*

L'inductance doit être alimentée en courant alternatif à la fréquence assignée; on relèvera les courbes d'impédance ou d'inductance en fonction du courant dans tout le domaine d'utilisation de l'inductance.

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

##### 34.1.2 *Essai de série*

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

#### 34.2 *Mesure sur les inductances à courant continu*

##### 34.2.1 *Essai de type*

On doit relever les courbes de l'inductance transitoire (voir 8.2) en fonction du courant dans tout le domaine d'utilisation de l'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 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 impédance/courant ainsi obtenue; ce point sera adopté comme base pour les essais de série ultérieurs.

##### 34.2.2 *Essai 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.

#### 34.3 *Mesure des inductances à courant ondulé*

##### 34.3.1 *Essai de type*

On doit relever la courbe d'inductance en fonction du courant dans tout le domaine d'utilisation prévu. L'inductance des selfs sans noyau de fer doit être calculée d'après la réactance mesurée en courant alternatif à fréquence industrielle.

The losses are considered as  $I^2R$ , the resistance  $R$  being corrected to the reference temperature.

#### 34 Measurement of inductance (type and routine tests)

In the absence of guarantee fixed at the time of ordering, the value of the inductance shall be specified by the manufacturer before execution of the 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.

##### 34.1 *Measurements on inductors for alternating current and inductors for convertors*

###### 34.1.1 *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 utilization of the inductor.

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

###### 34.1.2 *Routine test*

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

##### 34.2 *Measurement on inductors for direct current*

###### 34.2.1 *Type test*

Curves of the transient inductance (see 8.2) shall be plotted as a function of the current over the whole range of utilization of the inductor.

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.

###### 34.2.2 *Routine test*

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

##### 34.3 *Measurements on inductors for pulsating current*

###### 34.3.1 *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.

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

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

Sur l'inductance ayant satisfait 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 impédance/courant ainsi obtenue; ce point sera adopté comme base pour les essais de série ultérieurs.

#### 34.3.2 Essai 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.

### 35 Essais d'échauffement (essais de type)

Les essais d'échauffement d'une inductance sont effectués au courant équivalent défini à l'article 33.

L'inductance doit être placée dans des conditions admises comme équivalentes à celles qui seront réalisées 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 10.3).

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

Pour les essais d'échauffement à exécuter sur des inductances qui ne peuvent être dissociées d'un transformateur de traction, se référer à l'article 16.

**NOTE** - Pour les inductances à courant alternatif non sinusoïdal ou à courant ondulé, 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.

### 36 Essais diélectriques (essais de type et de série)

Les essais diélectriques sur de nouveaux types d'inductances devront se dérouler chez le constructeur, avec les inductances 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 36.1);