

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 310

Première édition — First edition

1969

Règles applicables aux transformateurs de traction et aux inductances de traction

Rules for traction transformers and reactors



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60310:1969

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

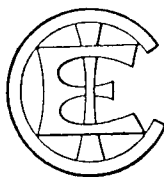
Publication 310

Première édition — First edition

1969

Règles applicables aux transformateurs de traction et aux inductances de traction

Rules for traction transformers and reactors



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

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
CHAPITRE I: DOMAINE D'APPLICATION ET CONDITIONS DE SERVICE	
1. Domaine d'application	6
2. Conditions de service	6
CHAPITRE II: DÉFINITIONS	
SECTION UN – DÉFINITIONS RELATIVES AUX TRANSFORMATEURS	
3. Réglage de la tension	8
4. Prises	8
5. Tensions nominales des enroulements d'un transformateur	10
6. Puissances nominales	10
SECTION DEUX – DÉFINITIONS RELATIVES AUX INDUCTANCES	
7. Classification des inductances	12
8. Définitions de l'inductance	12
9. Régime nominal des inductances	14
CHAPITRE III: REFROIDISSEMENT	
10. Désignation des transformateurs et des inductances selon leur mode de refroidissement	14
CHAPITRE IV: LIMITES D'ÉCHAUFFEMENT	
11. Classification des matières isolantes	16
12. Limites d'échauffement	16
CHAPITRE V: PLAQUES SIGNALÉTIQUES	
13. Plaque signalétique des transformateurs	18
14. Plaque signalétique des inductances	18
CHAPITRE VI: ESSAIS	
15. Catégories d'essais	18
SECTION UN – ESSAIS DES TRANSFORMATEURS	
16. Généralités – liste des essais	20
17. Tolérances	22
18. Vérification préliminaire	22
19. Mesure de la résistance des enroulements	22
20. Mesure des rapports de transformation	24
21. Mesure du courant primaire et des pertes à vide	24
22. Mesure des tensions de court-circuit	24
23. Mesure des pertes dues à la charge	26
24. Détermination des pertes totales	28
25. Essai d'échauffement	28
26. Essais diélectriques	30
27. Essais de tenue au court-circuit	34
SECTION DEUX – ESSAIS DES INDUCTANCES	
28. Liste des essais	36
29. Tolérances	38
30. Vérification préliminaire	38
31. Mesure de la résistance des enroulements	38
32. Détermination des pertes	38
33. Mesure de l'inductance	40
34. Essais d'échauffement	42
35. Essais diélectriques	42
36. Essai aux ondes de choc	42

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
CHAPTER I: SCOPE AND SERVICE CONDITIONS	
1. Scope	7
2. Service conditions	7
CHAPTER II: DEFINITIONS	
SECTION ONE – DEFINITIONS FOR TRANSFORMERS	
3. Voltage control	9
4. Tappings	9
5. Rated voltages of transformer windings	11
6. Rated power	11
SECTION TWO – DEFINITIONS FOR REACTORS	
7. Classification of reactors	13
8. Definitions of inductance	13
9. Rating of reactors	15
CHAPTER III: COOLING	
10. Identification of transformers and reactors according to cooling method	15
CHAPTER IV: LIMITS OF TEMPERATURE RISE	
11. Classification of insulating materials	17
12. Temperature-rise limits	17
CHAPTER V: RATING PLATES	
13. Transformer rating plate	19
14. Reactor rating plate	19
CHAPTER VI: TESTS	
15. Categories of tests	19
SECTION ONE – TESTS ON TRANSFORMERS	
16. General – list of tests	21
17. Tolerances	23
18. Preliminary check	23
19. Measurement of winding resistance	23
20. Measurement of voltage ratios	25
21. Measurement of no load primary current and losses	25
22. Measurement of impedance voltages	25
23. Measurement of load losses	27
24. Determination of total losses	29
25. Temperature-rise test	29
26. Dielectric tests	31
27. Behaviour under short-circuit conditions	35
SECTION TWO – TESTS ON REACTORS	
28. List of tests	37
29. Tolerances	39
30. Preliminary check	39
31. Measurement of winding resistance	39
32. Determination of losses	39
33. Measurement of inductance	41
34. Temperature-rise tests	43
35. Dielectric tests	43
36. Impulse voltage withstand test	43

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**RÈGLES APPLICABLES AUX TRANSFORMATEURS DE
TRACTION ET AUX INDUCTANCES DE TRACTION**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I 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 cette unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C E I dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

La présente recommandation est l'aboutissement du projet présenté en 1963 par l'Union Internationale des Chemins de Fer à l'occasion de la révision de la 1^{re} édition de la Publication 77: Règles applicables à l'appareillage électrique de traction.

Le Comité Mixte International du Matériel de Traction électrique, lors de la réunion tenue à Venise en 1963, avait en effet estimé que les règles particulières aux transformateurs utilisés sur les véhicules moteurs et figurant dans ladite publication devraient, à l'avenir, faire l'objet d'une publication distincte traitant également des inductances de traction dont la construction et les conditions de service restent très proches de celles des transformateurs de traction.

Diverses modifications au projet initial furent apportées par un Groupe de Travail préparatoire, puis par le Comité Mixte lors de sa session de Prague en 1967.

A la suite de cette dernière réunion, un projet de recommandation fut soumis, en décembre 1967, à l'approbation des Comités nationaux de la CEI suivant la Règle des Six Mois, ainsi qu'à l'Union Internationale des Chemins de Fer.

Ce projet a reçu l'accord explicite des Comités nationaux de la CEI des pays suivants:

Afrique du Sud	Israël
Allemagne	Italie
Australie	Japon
Belgique	Pays-Bas
Corée (République de)	Royaume-Uni
France	Suisse
Hongrie	Turquie
Iran	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

et de l'Union Internationale des Chemins de Fer.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RULES FOR TRACTION TRANSFORMERS AND REACTORS

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 this international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the IEC recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This Recommendation is based on the draft submitted in 1963 by the International Union of Railways on the occasion of the revision of the 1st edition of Publication 77, Rules for Electric Traction Equipment.

The International Mixed Committee on Electric Traction Equipment, at the meeting held in Venice in 1963, considered that the special rules applicable to transformers used on electric traction vehicles should, in future, form the subject of a separate publication also dealing with traction reactors, whose design and service conditions approximate closely to those for traction transformers.

Various amendments to the original draft were made by a Preparatory Working Group, and then by the International Mixed Committee at its meeting in Prague in 1967.

Following this latter meeting, a draft Recommendation was circulated, in December 1967, to the IEC National Committees for approval under the Six Months' Rule and to the International Union of Railways.

This draft was explicitly approved by the following IEC National Committees of the following countries:

Australia	Japan
Belgium	Korea (Republic of)
France	Netherlands
Germany	South Africa
Hungary	Switzerland
Iran	Turkey
Israel	Union of Soviet Socialist Republics
Italy	United Kingdom

and by the International Union of Railways.

RÈGLES APPLICABLES AUX TRANSFORMATEURS DE TRACTION ET AUX INDUCTANCES DE TRACTION

CHAPITRE I : DOMAINE D'APPLICATION ET CONDITIONS DE SERVICE

1. Domaine d'application

Les présentes règles s'appliquent aux transformateurs de traction des véhicules moteurs à courant monophasé et aux divers types d'inductances insérées dans les circuits principaux ou auxiliaires des véhicules moteurs électriques, telles que:

- les shunts inductifs des moteurs de traction;
- les inductances utilisées pour les transitions entre crans de graduateurs;
- les inductances des circuits de freinage;
- les inductances d'anode ou de cathode;
- les inductances de lissage;
- les inductances de suppression d'interférences.

Notes 1. – Les prescriptions de la Publication 76 de la CEI: Transformateurs de puissance, sont applicables aux transformateurs de traction dans la mesure où elles ne sont pas en contradiction avec les présentes règles.

2. – Pour les transformateurs et les inductances de convertisseurs statiques, il convient de se reporter en outre à la Publication de la CEI traitant des convertisseurs statiques monophasés de puissance pour la traction, en préparation, qui spécifie les prescriptions supplémentaires à appliquer auxdits appareils.

1.1 Extension des règles

Les présentes règles peuvent également être appliquées, après accord entre exploitant et constructeur, aux transformateurs de traction des véhicules à courant triphasé et aux transformateurs insérés dans les circuits auxiliaires mono ou polyphasés des véhicules, exception faite des transformateurs de mesure et des transformateurs de puissance nominale inférieure à 1 kVA en monophasé ou à 5 kVA en polyphasé.

1.2 Exclusions

Les présentes règles ne couvrent pas les accessoires tels que: graduateurs, résistances, radiateurs, ventilateurs, etc., destinés à être montés sur les transformateurs ou les inductances et qui doivent être essayés séparément suivant des règles spéciales.

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

Les essais sur les graduateurs seuls seront exécutés suivant les règles CEI en vigueur.

2. Conditions de service

2.1 Les règles s'appliquent 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.

RULES FOR TRACTION TRANSFORMERS AND REACTORS

CHAPTER I : SCOPE AND SERVICE CONDITIONS

1. Scope

The present rules apply to traction transformers on single-phase a.c. powered vehicles and to the various types of reactors inserted in the main or auxiliary circuits of electric vehicles, such as:

- inductive shunts for traction motors;
- reactors used for transition between tap changer notches;
- braking circuit reactors;
- anode or cathode reactors;
- smoothing reactors;
- interference suppression reactors.

Notes 1. – The requirements of IEC Publication 76, Power Transformers, are applicable to traction transformers in so far as they do not conflict with the present rules.

- 2. – For transformers and reactors for static converters, reference shall be made to the IEC Publication dealing with single-phase traction static power converters, in preparation, which specifies the additional requirements for such equipment.

1.1 Extension of the rules

The present rules can also be applied after agreement between user and manufacturer, to the traction transformers of three-phase vehicles and to the transformers inserted in the single-phase or polyphase auxiliary circuits of the vehicles, except instrument transformers and transformers of a rated output below 1 kVA single phase or 5 kVA polyphase.

1.2 Exclusions

The present rules do not cover accessories such as: tap changers, resistors, radiators, blowers, etc., intended for mounting on the transformers or reactors which must be tested separately according to particular rules.

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

Tests on tap changers alone shall be carried out in accordance with the relevant IEC rules.

2. Service conditions

2.1 The rules apply 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 *Température*

Sauf spécification contraire, il est admis que les températures ambiantes auxquelles les appareils sont appelés à fonctionner en service normal restent comprises entre -25°C et $+40^{\circ}\text{C}$, la moyenne annuelle n'excédant pas 25°C .

2.1.3 *Chocs mécaniques*

Sauf spécification contraire, il est admis que les accélérations maximales des chocs auxquels les transformateurs, les inductances sont susceptibles d'être soumis en service seront les suivantes:

horizontalement	{ dans le sens du déplacement du véhicule	3 g
	{ latéralement	2 g
verticalement		1 g

g étant la valeur de l'accélération due à la pesanteur.

Les accessoires d'appareillage tels que contacteurs, relais, etc. montés sur les transformateurs ou les inductances devront être étudiés en vue de supporter les vibrations définies par la Publication 77 de la CEI: Règles applicables à l'appareillage électrique de traction.

2.2 *Conditions spéciales*

Des dispositions particulières fixées par accord entre exploitant et constructeur seront prises lorsque les conditions diffèrent de celles mentionnées au paragraphe 2.1 par exemple:

- altitude supérieure à 1 200 m;
- température ambiante dépassant 40°C ;
- température minimale 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 modalités à fixer par accord entre l'exploitant et le constructeur.

CHAPITRE II : DÉFINITIONS

SECTION UN - DÉFINITIONS RELATIVES AUX TRANSFORMATEURS

Note. - Sauf stipulations contraires de la présente section, les définitions générales données par la Publication 76 de la CEI sont valables pour les transformateurs couverts par les présentes règles.

3. **Réglage de la tension**

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.

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 dont l'existence doit être indiquée sur le schéma et dans la spécification en précisant, en principe, la tension et le courant correspondants et, s'il y a lieu, leurs caractéristiques limites d'utilisation.

2.1.2 Temperature

Unless otherwise specified, the ambient temperatures at which the equipment is to work in normal operation lie between -25°C and $+40^{\circ}\text{C}$ with a yearly average not exceeding 25°C .

2.1.3 Mechanical shocks

Unless otherwise specified, the maximum accelerations of shocks to which the transformers and reactors are likely to be submitted in service shall be assumed as follows:

horizontally	in the direction of motion of the vehicle	3 g
	transversely	2 g
vertically		1 g

g being the value of acceleration due to gravity.

Controlgear accessories such as contactors, relays, etc., mounted on transformers or reactors, must be designed in order to withstand the vibrations defined in IEC Publication 77, Rules for Electric Traction Equipment.

2.2 Special conditions

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

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

Check 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 ONE – DEFINITIONS FOR TRANSFORMERS

Note. – Unless otherwise specified in this Section, the general definitions given in IEC Publication 76 are valid for the transformers covered by the present rules.

3. Voltage control

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-tension control;
- transformers with high-tension control.

4. Tappings

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

4.1 *Prise principale*

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

Lorsque des prises intermédiaires sont placées à la fois sur l'enroulement côté ligne et sur l'enroulement traction, les prises principales sont celles spécifiées.

Pour les véhicules moteurs polycourant, les prises principales peuvent être différentes dans chaque système.

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

5. **Tensions nominales des enroulements d'un transformateur**

5.1 *Tension nominale côté ligne*

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

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

Note. – La Publication de la CEI traitant des règles applicables aux machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers, en préparation, donne la liste des tensions nominales des réseaux de traction.

5.2 *Tension nominale secondaire*

La tension nominale d'un enroulement secondaire du transformateur est la tension efficace à vide aux bornes de cet enroulement, lorsque l'enroulement côté ligne du transformateur, sur sa prise principale, est alimenté à sa tension nominale et à la fréquence nominale.

6. **Puissances nominales**

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 nominale de chacun de ses enroulements, exprimée en kilovoltampères, et définie comme étant le produit de la tension nominale de cet enroulement par son courant nominal.

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

Le courant nominal d'un enroulement est le courant que cet enroulement peut supporter indéfiniment sans que son échauffement dépasse la limite indiquée à l'article 12. Pour un enroulement traction, le courant nominal doit correspondre à la prise principale. Cette définition du courant nominal s'applique dans l'hypothèse où les autres enroulements normalement chargés fournissent leur charge nominale.

Note. – La puissance nominale de l'enroulement côté ligne d'un transformateur peut être inférieure à la somme des puissances nominales 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.

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 continuously rated current, the transformer line-side winding being supplied at rated voltage and frequency.

When both line-side windings and traction windings have intermediate tapplings, the principal tapplings are those specified.

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

The voltage ratio at no-load 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 tapplings, the rated voltage shall be referred to the principal tapping.

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

Note. – The IEC Publication dealing with rules for rotating electrical machines for rail and road vehicles, in preparation, 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 (for example: traction, auxiliaries, train heating). The specification of the transformer shall indicate the rated power, in kilovoltamperes, of each winding defined as the product of the rated voltage of this winding by its rated current.

The rating of a transformer is its continuous rating.

The rated current of a winding is the current this winding can withstand indefinitely 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, carry their rated loads.

Note. – The rated power of the line-side winding of a transformer can be less than the sum of the rated power 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 DEUX – DÉFINITIONS RELATIVES AUX INDUCTANCES

7. Classification des inductances

Selon leur utilisation, les inductances peuvent se classer en :

- *Inductances à courant alternatif*
inductances insérées dans des circuits à courant alternatif telles que les inductances de transition entre crans de gradateurs, les inductances des circuits de freinage des moteurs monophasés à collecteur, etc.
- *Inductances à courant continu*
inductances insérées dans des circuits à courant continu telles que les shunts inductifs de moteurs de traction, etc.
- *Inductances à courant ondulé*
inductances insérées dans des circuits parcourus par un courant unidirectionnel présentant une ondulation périodique notable, telles les inductances de lissage de moteurs à courant ondulé, etc.

8. Définitions de l'inductance

En l'absence de garantie fixée à la commande, la valeur de l'inductance d'une bobine devra être spécifiée par le constructeur avant exécution des essais. 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 l'inductance alimentée par une tension alternative sinusoïdale de valeur et de fréquence spécifiées.

8.2 Inductance transitoire

Se déduit du relevé oscillographique du courant dans l'inductance ou de la mesure de la variation du flux magnétique; les essais sont effectués en courant continu, en opérant soit par fermeture brusque du circuit, soit par mise en court-circuit brusque de l'inductance.

8.3 Inductance en courant ondulé

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

¹⁾ Il est rappelé que, conformément à la Publication de la CEI traitant des convertisseurs statiques monophasés de puissance pour la traction, en préparation, 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.

SECTION TWO – DEFINITIONS FOR REACTORS

7. Classification of reactors

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

- *Alternating current reactors*
reactors inserted in a.c. circuits, such as transition reactors used for transition between notches of tap changers, reactors for a.c. commutator motor braking circuits, etc.
- *Direct current reactors*
reactors inserted in d.c. circuits, such as inductive shunts for traction motors, etc.
- *Pulsating current reactors*
reactors inserted in circuits in which flows a unidirectional current with a significant periodic ripple, such as smoothing reactors for pulsating current motors, etc.

8. Definitions of inductance

In the absence of guarantee fixed at the time of ordering, the value of the inductance of a reactor shall be specified by the manufacturer before execution of the tests. Values of inductance for reactor coils 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 measurement of the a.c. current passing through the reactor when it is supplied by a sinusoidal alternating voltage of specified value and frequency.

8.2 Transient inductance

Is derived from the oscillographic record of current in the reactor or from the measurement of the variation of magnetic flux; the tests are carried out with direct current either by means of a sudden closing of the circuit or by a sudden short-circuiting of the reactor.

8.3 Pulsating current inductance

Is derived from a record of the terminal voltage when a specified pulsating current is passed through the reactor ¹⁾.

¹⁾ It should be mentioned that, in accordance with the IEC Publication dealing with single-phase traction static power converters, in preparation, 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 $I_{\min.}$ represent the maximum and minimum values of the current wave respectively.

9. Régime nominal des inductances

Les définitions relatives aux régimes des inductances sont les mêmes que celles applicables aux machines tournantes de traction; on se référera aux définitions de la Publication de la CEI traitant des règles applicables aux machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers, en préparation.

La catégorie du régime et les valeurs des diverses grandeurs caractérisant celui-ci (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 des inductances selon leur mode de refroidissement

Le mode de refroidissement des appareils doit être mentionné dans leur spécification. A cet effet, on utilisera le code ci-après.

10.1 Symboles à utiliser

Le mode de refroidissement est indiqué par un groupe de lettres choisies dans le tableau I.

TABLEAU I
Symboles littéraux

Nature de l'agent de refroidissement	Symbole
Huile minérale Askarel Gaz Air Isolant solide	O L G A S
Mode de circulation	Symbole
Naturelle Forcée	N F

10.2 Arrangement des symboles

Les transformateurs et inductances du type sec refroidis à l'air sont désignés par les deux lettres AN ou AF selon le cas.

Les autres types de transformateurs ou d'inductances sont désignés par un groupe de quatre lettres disposées comme suit:

- la première lettre désigne la nature de l'agent de refroidissement qui est en contact avec les enroulements;
- la deuxième lettre désigne le mode de circulation dudit agent;
- la troisième lettre désigne la nature de l'agent de refroidissement qui est en contact avec l'extérieur;
- la quatrième lettre désigne le mode de circulation de ce dernier agent.

Exemple : un transformateur à gaz à circulation forcée avec refroidissement du gaz dans un aéro-réfrigérant muni d'un ventilateur sera désigné GFAF.

9. Rating of reactors

Definitions related to the ratings of reactors are the same as those applicable to traction rotating machines; reference shall be made to the definitions of the IEC Publication dealing with rules for rotating electrical machines for rail and road vehicles, in preparation.

The class of rating and the value of the various quantities characterizing the rating (current, voltage, frequency, duration, duty cycle, ventilation, etc.) shall be either guaranteed by the manufacturer, or submitted by the manufacturer to the agreement of the user, before execution of the tests.

CHAPTER III : COOLING

10. Identification of transformers and reactors according to cooling method

The method of cooling of the apparatus shall be indicated in their specification. For this purpose, the following code shall be used.

10.1 Symbols to be used

The cooling method is indicated by a group of letters selected in Table I.

TABLE I
Letter symbols

Kind of cooling medium	Symbol
Mineral oil	O
Askarel	L
Gas	G
Air	A
Solid insulant	S
Kind of circulation	Symbol
Natural	N
Forced	F

10.2 Arrangement of symbols

Air-cooled dry type transformers and reactors are identified by the two letters AN or AF as appropriate.

Other types of transformers and reactors are identified by a group of four letters arranged as follows:

- the first letter indicates the cooling medium that is in contact with the windings;
- the second letter indicates the kind of circulation of the said medium;
- the third letter indicates the cooling medium that is in contact with the exterior;
- the fourth letter indicates the kind of circulation of this last medium.

Example: a gas-cooled transformer with forced circulation of the gas which is cooled in a gas-air heat exchanger equipped with a blower, shall be designated GFAF.

Type et partie de l'appareil	Classe de température des isolants solides des enroulements deg C					Remarques
	A	E	B	F	H	Voir note
Transformateurs et inductances immergés dans un diélectrique liquide						
Enroulements	75	75	75	75	75	1
Huile ou Askarel	65	65	65	65	65	1
Transformateurs et inductances du type sec à refroidissement par air ou par gaz spécial						
Enroulements	85	105	130	155	180	2

Notes 1. – 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 diélectriques spéciaux, etc.).

2. – 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 devront en aucun cas excéder les valeurs indiquées dans le tableau.

Type and part of the apparatus	Class of temperature of the solid insulating materials of the windings deg C					Remarks
	A	E	B	F	H	See Note
Transformers and reactors immersed in a dielectric liquid						
Windings	75	75	75	75	75	1
Oil or Askarel	65	65	65	65	65	1
Dry type transformers and reactors cooled by air or by a special gas						
Windings	85	105	130	155	180	2

Notes 1. – 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 dielectric liquid, etc.).

2. – 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 winding, the limits shall not exceed in any case the values indicated in the table.

Les valeurs d'échauffement ci-dessus 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 devra en aucun cas atteindre une valeur susceptible d'endommager ces parties ou les parties adjacentes.

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.
- Puissance et tension nominales de chacun des enroulements.

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.
- Courant nominal.
- Inductance.

Note. — Pour les inductances de lissage, le courant nominal indiqué sur la plaque signalétique est le courant continu moyen.

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 courant du texte.

15.2 Essai de type

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

The above temperature rises 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 reactors shall not, in any case, reach a value that may damage these parts or adjacent ones.

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.
- Rated power and voltage of each winding.

14. Reactor rating plate

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

- Manufacturer's name.
- Manufacturer's serial number.
- Rated current.
- Inductance.

Note. — For smoothing reactors, the rated current shown on the rating plate is the mean direct current.

CHAPTER VI : TESTS

15. Categories of tests

15.1 General

There are three categories of tests:

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

Description of the different tests belonging to each category is given in the following text.

15.2 Type test

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

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 Essai 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.

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 des essais d'investigation ne sont pas opposables à l'acceptation des appareils.

SECTION UN – 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 III 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 ou de répartition qui ne peuvent être dissociées du transformateur seront exécutés en même temps que les essais de ce dernier. L'exploitant et le constructeur se mettront d'accord sur les essais à faire subir, si besoin, à ces inductances en tant qu'appareils séparés, afin de s'assurer qu'elles satisfont bien à toutes les exigences des présentes règles.

TABLEAU III

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

Nature de l'essai	Article	
	Type	Série
Vérification préliminaire	—	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 {	—	26.1
	—	26.2
	26.3	—
Tenue au court-circuit (facultatif)	27	—

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 test

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

15.4 Investigation test

Investigation tests are special tests of an optional character carried out on a single apparatus 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 the investigation tests are not to be taken as influencing the acceptance of the apparatus.

SECTION ONE – TESTS ON TRANSFORMERS

16. General – list of tests

The checks, measurements and tests to be made on traction transformers are indicated in Table III 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 or balancing reactors 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 reactors as separate apparatus, so as to ensure that they fulfil all requirements of the present rules.

TABLE III
List of checks and tests to be made on traction transformers

Nature of test	Clause	
	Type	Routine
Preliminary check	—	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 — separate source voltage withstand — impulse voltage withstand	—	26.1
	—	26.2
	26.3	—
Behaviour under short-circuit conditions (optional)	27	—

Pour les essais des transformateurs de traction faisant partie d'un convertisseur statique, se référer en outre à la Publication de la CEI traitant des convertisseurs statiques monophasés de puissance pour la traction, en préparation.

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 Publication 165 de la CEI: Règles pour les essais des véhicules moteurs de traction électrique après achèvement et avant mise en service, en ce qui concerne les essais à effectuer éventuellement.

17. Tolérances

Le tableau IV donne les tolérances applicables à certaines grandeurs nominales et à d'autres grandeurs lorsqu'elles sont sujettes à des garanties du constructeur se référant aux présentes règles.

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

TABLEAU IV
Tolérances

Grandeur (et article)	Tolérances
1. a) Pertes totales b) Pertes partielles (articles 21, 23, 24)	+ 1/10 des pertes totales + 1/7 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 nominal) (article 20)	La plus faible des valeurs suivantes: $\pm 1/200$ du rapport spécifié, ou un pour- centage du rapport spécifié égal au 1/10 de la tension de court-circuit réelle exprimée en pour-cent à la charge nominale
3. Tension de court-circuit (à la prise principale) (article 22)	$\pm 1/7$ de la tension de court-circuit spécifiée pour cette prise ¹⁾
4. Courant à vide (article 21)	+ 3/10 du courant à vide spécifié

¹⁾ Pour les autres prises, la tolérance fera l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

18. Vérification préliminaire (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 sera mesurée à froid en courant continu.

Se référer à la Publication 76 de la CEI 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 the IEC Publication dealing with single-phase traction static power convertors, in preparation.

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 the IEC Publication 165, Rules for the Testing of Electric Rolling Stock on Completion of Construction and before Entry into Service, if any tests are considered necessary.

17. Tolerances

Table IV gives tolerances applicable to certain rated quantities and to other quantities when they are the subject of manufacturer's guarantees referring to the present rules.

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

TABLE IV
Tolerances

Quantity (and Clause)	Tolerance
1. a) Total losses b) Component losses (Clauses 21, 23, 24)	+ 1/10 of the total losses + 1/7 of each component loss provided the tolerance on total losses is not exceeded
2. Voltage ratio at no load on the principal tapping (rated voltage ratio) (Clause 20)	$\pm 1/200$ 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)	$\pm 1/7$ of the declared impedance voltage for that tapping ¹⁾
4. No-load current (Clause 21)	+ 3/10 of the declared no-load current

¹⁾ For other tappings, tolerance shall be subject to agreement between user and manufacturer.

18. Preliminary check (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 Publication 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 dudit enroulement sera mesurée pour chaque prise.
- b) Si certains enroulements auxiliaires comportent plusieurs sections, on mesurera la résistance de chacune d'elles.

Pour les essais de série:

la mesure a) sera limitée à la prise principale de l'enroulement; la mesure b) sera effectuée 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 seront mesurés pour chacune des prises accessibles de ceux-ci.

Si un transformateur à réglage haute tension comporte plusieurs enroulements secondaires 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 seront faites à la fréquence nominale, 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 Publication 76 de la CEI pour la méthode de correction à utiliser.

La tension sera appliquée à un enroulement convenable du transformateur; si celui-ci est à réglage haute tension, le graduateur et le primaire du transformateur traction à rapport fixe resteront en circuit mais, dans tous les cas, tous les autres enroulements seront laissés à circuit ouvert.

21.1 Essais de type

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

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

21.2 Essais de série

Les mesures sont faites comme au paragraphe 21.1 ci-dessus, mais seulement pour la tension U et pour la prise principale.

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, en notant que 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.

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) shall be limited to the principal tapping of the winding; measurement b) shall 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 measurements 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 wave form of the applied voltage being approximately sinusoidal.

In case of non sinusoidal test voltage, reference should be made to IEC Publication 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 circuit.

21.1 Type tests

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 tests

The measurements are made as in Sub-clause 21.1 above, but only for voltage U and for the principal tapping.

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 must be measured shall be fixed by agreement between user and manufacturer, keeping in mind that 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 computing the fault currents.

Les tensions de court-circuit doivent être mesurées selon les prescriptions de la Publication 76 de la CEI pour les combinaisons suivantes des enroulements :

- a) enroulement côté ligne et ensemble des enroulements traction (essais de type et de série);
- b) enroulement côté ligne et chacun des enroulements séparés traction (essais de type et de série);
- c) enroulement côté ligne et chacun des enroulements séparés auxiliaires (essais de type).

Pour les essais de type a) et b), les mesures seront faites sur toutes les prises, tandis que pour les essais de type c) et pour les essais de série, les mesures seront 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 feront 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. Dans aucun cas, la tension appliquée à un enroulement ne devra 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. Mesures des pertes dues à la charge (essais de type et de série)

23.1 Généralités

Les pertes dues à la charge seront 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 seront corrigées en les multipliant par le carré du rapport du courant nominal 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 Joule 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.

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

- a) enroulement côté ligne/tous les enroulements secondaires 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 Publication de la CEI traitant des convertisseurs statiques monophasés de puissance pour la traction, en préparation.

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.

Impedance voltages shall be measured according to the procedure in IEC Publication 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 independent traction winding separately (type and routine);
- c) line-side winding to each auxiliary winding separately (type test).

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

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

The impedance voltages 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 said winding or the current through it exceed its rated value.

The measured values shall be corrected by increasing them 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 increasing them in the ratio: (rated current)² to (test current)².

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) loss as varying directly with resistance and all the other losses varying inversely with resistance. Resistance shall be determined as specified in Clause 19.

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 the IEC Publication dealing with single-phase traction static power convertors, in preparation.

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, and the extra losses derived from the tests shall be added.

23.2 Essais de type

Les pertes dues à la charge seront déterminées pour les combinaisons *a)* et *b)* définies au paragraphe 23.1. Pour la combinaison *a)*, la détermination sera 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 traction;
- à une autre prise.

23.3 Essais de série

Les pertes dues à la charge seront 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 V:

TABLEAU V
Températures de référence

Classe de température	Température de référence
A E B	75 °C
F H	115 °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 traction.

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 nominal.

25. Essai d'échauffement (essai de type)

L'essai d'échauffement est effectué à la puissance nominale 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 réalisées sur le véhicule.

Pour les transformateurs à ventilation forcée et assimilés visés au paragraphe 10.3, l'essai est exécuté avec le débit d'air (ou la vitesse) spécifié.

23.2 Type tests

Load losses shall be determined for combinations *a)* and *b)* defined in Sub-clause 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 tests

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 V:

TABLE V
Reference temperatures

Class of temperature	Reference temperature
A E B	75 °C
F H	115 °C

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

The total losses for the traction transformers are calculated for the combination of rated traction load and rated auxiliary circuit loads.

Subject to agreement between user and manufacturer, the losses associated with the train heating load are usually included in this calculation. The power consumption of the transformer auxiliary equipment (oil pump, blower, etc.) is not included in its total losses.

Unless otherwise specified, for other transformers 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 by Sub-clause 10.3 the test shall be carried out with the specified air flow (or velocity).

L'une quelconque des méthodes d'essai indiquées dans la Publication 76 de la CEI, c'est-à-dire :

- méthode de mise en charge directe;
 - méthode d'opposition;
 - méthode du court-circuit,
- peut être utilisée au choix du constructeur.

On se référera également à la Publication 76 de la CEI 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 diélectrique liquide seront effectués comme suit :

Tous les enroulements secondaires traction sont connectés en parallèle et mis en court-circuit. Toutefois, les enroulements secondaires traction indépendants fonctionnant normalement en série seront, 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 chauffage du train, la puissance des enroulements auxiliaires est usuellement faible par rapport à la charge traction et les suppléments d'échauffement des enroulements principaux dus aux pertes dues à la charge des enroulements auxiliaires peuvent être obtenus par le calcul.

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 nominale.

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 Publication de la CEI traitant des convertisseurs statiques monophasés de puissance pour la traction (en préparation).

Dans tous les cas, les valeurs finales des échauffements des divers organes du transformateur ne devront pas excéder les limites indiquées au tableau II, article 12.

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 devront être définies dans chaque cas particulier.

Toutefois :

- on maintiendra 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 graduateur sera connecté à la prise principale.

Les essais diélectriques comprennent :

- des essais par tension induite (voir paragraphe 26.1);
- des essais par tension appliquée à fréquence industrielle (voir paragraphe 26.2), et peuvent aussi comprendre des essais aux ondes de choc (voir paragraphe 26.3).

Any one of the methods of test given in IEC Publication 76 i.e.:

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

may be used at will by the manufacturer.

Reference should also be made to IEC Publication 76 for:

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

Temperature-rise tests by the short-circuit method on transformers immersed in a liquid dielectric 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 and the additional temperature rises of the main windings of the transformer due to load losses of auxiliary windings can be obtained by calculation.

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 the IEC Publication dealing with single-phase traction static power convertors, in preparation.

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 II, Clause 12.

26. Dielectric tests (type and routine tests)

The dielectric tests on new transformers are carried out in the manufacturer's workshops with the transformers at room temperature and equipped with such of their accessories as are able to exert an influence on 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 Sub-clause 26.1);
- separate source voltage withstand tests at industrial frequency (see Sub-clause 26.2), and may also include impulse voltage withstand tests (see Sub-clause 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 VI et VII 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 VI
*Tensions d'essais diélectriques des enroulements connectés
directement à la ligne de contact*

Tension nominale U du réseau de traction	Tension d'essai U'	
	Essai par tension induite	Essai aux ondes de choc
15 000 V 25 000 V	38 000 V eff. 60 000 V eff.	95 000 V crête 130 000 V crête
<i>Note.</i> – Dans des cas spéciaux, après accord spécifié entre l'exploitant et le constructeur, il peut être fait usage de tensions d'essai plus élevées que celles données dans ce tableau.		

TABLEAU VII
*Tensions d'essais diélectriques U' (par tension induite ou par
tension appliquée) des autres enroulements*

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
<i>Note.</i> – Dans les formules ci-dessus, U est la tension nominale 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 durée de l'essai en fonction de la fréquence, etc., on se référera à la Publication 76 de la CEI.

Lors de l'essai, la cuve et les enroulements couplés, autres que celui servant à l'alimentation, seront 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 VI.

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

TABLE VI
*Dielectric test voltages for windings directly connected
to the contact line*

Nominal voltage U of the traction system	Test voltage U'	
	Induced voltage test	Impulse voltage test
15 000 V 25 000 V	38 000 V r.m.s. 60 000 V r.m.s.	95 000 V peak 130 000 V peak
<i>Note.</i> – For special cases, after specific agreement between user and manufacturer, values of test voltages exceeding those stated in this table may be used.		

TABLE VII
*Dielectric test voltage U' (induced voltage or separate source
voltage withstand test) for other windings*

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
<i>Note.</i> – In the above formulae U is the rated voltage of the winding concerned (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 tapplings 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, duration of the test according to the frequency, etc., reference should be made to IEC Publication 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 VI.

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 sera 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 Publication 76 de la CEI.

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 sera appliquée à la borne côté ligne du transformateur.

Pendant l'essai :

- la cuve et toutes les bornes secondaires accessibles seront directement connectées à la terre;
- la borne côté terre de l'enroulement côté ligne sera 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, seront enlevés ou déconnectés;
- dans le cas de réglage haute tension, le gradateur sera connecté à la prise principale.

Les essais de choc seront effectués avec l'onde pleine normalisée de 1,2/50, la valeur de crête de la tension appliquée étant celle spécifiée dans le tableau VI.

Pour les méthodes d'exécution des essais, l'indication des défauts, etc., on se référera à la Publication 76 de la CEI.

Les essais en ondes coupées ne sont pas recommandés.

27. **Essais de tenue au court-circuit (essai de type facultatif)**

Le transformateur doit pouvoir supporter sans dommage les effets thermiques et mécaniques des courts-circuits qui peuvent se produire en service aux bornes soit des enroulements secondaires traction, soit de l'enroulement de chauffage du train.

La valeur maximale de la puissance de court-circuit susceptible d'être atteinte à l'entrée du véhicule devra être spécifiée par l'exploitant au constructeur.

Du point de vue thermique, le transformateur sera calculé pour supporter pendant 3 s le courant de court-circuit symétrique susceptible de s'établir pour une tension d'alimentation égale à 110 % de la tension nominale du réseau de traction, compte tenu :

- de la puissance de court-circuit à l'entrée du véhicule;
- de l'impédance du transformateur, et
- dans le cas de l'enroulement de chauffage du train, de la présence dans ce circuit d'une impédance dont la valeur sera fixée par accord entre exploitant et constructeur.

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 seront calculées pour le courant de court-circuit symétrique défini ci-dessus supposé maintenu pendant 3 s.

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, providing 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 wave shape of the test voltage, the minimum frequency, the details for applying the voltage and the duration of test, reference should be made to IEC Publication 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 on the principal tapping.

Full wave tests shall be carried out with the standard impulse wave shape 1.2/50; the peak value of the applied voltage shall be that specified in Table VI.

For methods of carrying out the test, fault indication, etc., reference is made to IEC Publication 76.

Tests with chopped waves are not recommended.

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

The transformer shall be capable of withstanding without damage the thermal and mechanical effects of short-circuits between the terminals of both the traction secondary winding(s) and the train heating winding separately.

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

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 with a supply voltage equal to 110% of the nominal voltage of the traction system, with due regard to:

- the short-circuit power available at the vehicle;
- the impedance of the transformer, and
- in the case of the train heating winding, the presence of an impedance in this circuit, the value of which shall be agreed between user and manufacturer.

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.

Les essais de court-circuit seront limités à la vérification de la tenue mécanique. Ils consisteront à effectuer deux essais successifs, la tension à vide côté ligne étant égale à 110 % de la tension nominale du réseau de traction, la durée de chaque essai étant fixée par accord entre exploitant et constructeur, compte tenu des caractéristiques du dispositif de protection, à une valeur non inférieure à 0,1 s, le court-circuit étant réalisé de façon à produire le maximum d'asymétrie.

Si le transformateur est du type à réglage haute tension, les deux essais de court-circuit aux bornes du secondaire traction seront faits comme suit : une fois sur la prise à tension maximale et une fois sur la prise intermédiaire considérée devoir conduire aux conditions les plus dures pour l'autotransformateur.

Si le transformateur possède plusieurs enroulements secondaires traction, les essais seront effectués successivement et à des intervalles de temps fixés par accord entre exploitant et constructeur sur chacun des enroulements secondaires alimentant le circuit de traction.

Si un essai de court-circuit doit être effectué aux bornes de l'enroulement de chauffage du train, la valeur de l'impédance à utiliser dans ce circuit sera fixée par accord entre exploitant et constructeur.

Après achèvement des essais de court-circuit, on procédera au relevé des pertes à vide et à la mesure des tensions de court-circuit conformément au paragraphe 21.2 et à l'article 22. Si les valeurs relevées ne présentent pas de différences appréciables avec celles relevées dans les mêmes conditions avant exécution des essais de court-circuit, le transformateur sera 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 décuage, il n'est constaté aucune déformation visible, ni déplacement, ni relâchement des enroulements, des isolations ou des dispositifs de calage.

SECTION DEUX – ESSAIS DES INDUCTANCES

28. Liste des essais

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

TABLEAU VIII

Listes des vérifications et essais à exécuter sur les inductances

Nature de l'essai	Type de l'inductance et article					
	A courant alternatif		A courant continu		A courant ondulé	
	Type	Série	Type	Série	Type	Série
Vérification préliminaire	—	30	—	30	—	30
Mesure de la résistance des enroulements	—	31	—	31	—	31
Mesure des pertes en courant alternatif	32.1	—	—	—	—	—
Mesure de l'inductance { en courant alternatif transitoire en courant ondulé	33.1.1	33.1.2	—	33.2.2	—	33.3.2
	—	—	33.2.1	—	—	—
	—	—	—	—	33.3.1	—
Echauffement	34	—	34	—	34	—
Diélectrique	—	35	—	35	—	35
Aux ondes de choc	36	—	36	—	—	—