

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
726**

Première édition
First edition
1982

Transformateurs de puissance de type sec

Dry-type power transformers



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 726: 1982

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
726

Première édition
First edition
1982

Transformateurs de puissance de type sec

Dry-type power transformers

© CEI 1982 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

R

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
SECTION UN — GÉNÉRALITÉS	
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Conditions de service	6
3. Définitions	8
4. Prises	10
5. Connexions.	10
6. Tenue au court-circuit.	10
SECTION DEUX — RÉGIME ASSIGNÉ	
7. Régime assigné.	10
8. Plaques signalétiques	12
SECTION TROIS — MÉTHODES DE REFROIDISSEMENT ET ÉCHAUFFEMENT	
9. Désignation suivant le mode de refroidissement	14
10. Limites d'échauffement	16
SECTION QUATRE — NIVEAUX D'ISOLEMENT	
11. Niveaux d'isolement.	20
SECTION CINQ — ESSAIS	
12. Prescriptions générales pour les essais	20
13. Mesure de la résistance des enroulements	22
14. Mesure du rapport de transformation et contrôle du couplage	22
15. Mesure de la tension de court-circuit (prise principale), de l'impédance de court-circuit et des pertes dues à la charge	22
16. Mesure des pertes et du courant à vide	22
17. Essai diélectrique par tension appliquée	22
18. Essai diélectrique par tension induite	22
19. Essai au choc de foudre	24
20. Mesure des décharges partielles	24
21. Essai d'échauffement	28
22. Mesure du niveau de bruit	32
23. Essai de tenue au court-circuit	32
24. Tolérances	32
SECTION SIX — ENVELOPPES	
25. Degrés de protection procurés par les enveloppes.	32
ANNEXE A — Renseignements à fournir à l'appel d'offre et à la commande	34
ANNEXE B — Conditions de service exceptionnelles	38

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
 SECTION ONE — GENERAL	
Clause	
1. Scope	7
2. Service conditions	7
3. Definitions	9
4. Tappings	11
5. Connections	11
6. Ability to withstand short circuit.	11
 SECTION TWO — RATING	
7. Rating	11
8. Rating plates.	13
 SECTION THREE — COOLING METHODS AND TEMPERATURE RISE	
9. Identification according to cooling method	15
10. Temperature-rise limits	17
 SECTION FOUR — INSULATION LEVELS	
11. Insulation levels	21
 SECTION FIVE — TESTS	
12. General requirements for tests	21
13. Measurement of winding resistance	23
14. Measurement of voltage ratio and check of voltage vector relationship	23
15. Measurement of impedance voltage (principal tapping), short-circuit impedance and load loss	23
16. Measurement of no-load loss and current	23
17. Separate-source voltage withstand test.	23
18. Induced overvoltage withstand test	23
19. Lightning impulse test.	25
20. Partial discharge measurement	25
21. Temperature-rise test	29
22. Measurement of sound level	33
23. Short-circuit test	33
24. Tolerances	33
 SECTION SIX — ENCLOSURES	
25. Degrees of protection provided by enclosures.	33
APPENDIX A — Information required with enquiry and order.	35
APPENDIX B — Unusual service conditions	39

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE DE TYPE SEC

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 sujet 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 C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la C E I, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la C E I et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes n° 14 de la C E I: Transformateurs de puissance.

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Helsinki en 1977. A la suite de cette réunion, un projet, document 14(Bureau Central)46, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en janvier 1979.

Des modifications, document 14(Bureau Central)53, furent soumises à l'approbation des Comités nationaux selon la Procédure des Deux Mois en août 1980.

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Espagne	Royaume-Uni
Allemagne	Finlande	Suède
Australie	Israël	Suisse
Autriche	Italie	Tchécoslovaquie
Belgique	Norvège	Turquie
Chine	Pays-Bas	Union des Républiques
Danemark	Pologne	Socialistes Soviétiques
Egypte	Roumanie	Yougoslavie

Autres publications de la C E I citées dans la présente norme:

- Publications n°s 50: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.).
- 71: Coordination de l'isolement.
- 76: Transformateurs de puissance:
- 76-1: Première partie: Généralités.
- 76-2: Deuxième partie: Echauffement.
- 76-3: Troisième partie: Niveaux d'isolement et essais diélectriques.
- 76-4: Quatrième partie: Prises et connexions.
- 76-5: Cinquième partie: Tenue au court-circuit.
- 84: Recommandations pour les convertisseurs à vapeur de mercure.
- 85: Recommandations relatives à la classification des matières destinées à l'isolement des machines et appareils électriques en fonction de leur stabilité thermique en service.
- 119: Recommandations pour les cellules, éléments redresseurs et groupes redresseurs à semiconducteurs polycristallins.
- 146: Convertisseurs à semi-conducteurs.
- 185: Transformateurs de courant.
- 186: Transformateurs de tension.
- 270: Mesure des décharges partielles.
- 529: Classification des degrés de protection procurés par les enveloppes.
- 551: Mesure des niveaux de bruit des transformateurs et des bobines d'inductance.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

DRY-TYPE POWER TRANSFORMERS

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.

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 14: Power Transformers.

A first draft was discussed at the meeting held in Helsinki in 1977. As a result of this meeting, a draft, Document 14(Central Office)46, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in January 1979.

Amendments, Document 14(Central Office)53, were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in August 1980.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Germany	Spain
Austria	Israel	Sweden
Belgium	Italy	Switzerland
China	Netherlands	Turkey
Czechoslovakia	Norway	Union of Soviet
Denmark	Poland	Socialist Republics
Egypt	Romania	United Kingdom
Finland	South Africa (Republic of)	Yugoslavia

Other IEC publications quoted in this standard:

Publications Nos.	50:	International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.).
	71:	Insulation Co-ordination.
	76:	Power Transformers:
	76-1:	Part 1: General.
	76-2:	Part 2: Temperature Rise.
	76-3:	Part 3: Insulation Levels and Dielectric Tests.
	76-4:	Part 4: Tappings and Connections.
	76-5:	Part 5: Ability to Withstand Short Circuit.
	84:	Recommendations for Mercury-arc Convertors.
	85:	Recommendations for the Classification of Materials for the Insulation of Electrical Machinery and Apparatus in Relation to Their Thermal Stability in Service.
	119:	Recommendations for Polycrystalline Semiconductor Rectifier Stacks and Equipment.
	146:	Semiconductor Convertors.
	185:	Current Transformers.
	186:	Voltage Transformers.
	270:	Partial Discharge Measurements.
	529:	Classification of Degrees of Protection Provided by Enclosures.
	551:	Measurement of Transformer and Reactor Sound Levels.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE DE TYPE SEC

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application

La présente norme s'applique aux transformateurs de puissance de type sec (y compris les autotransformateurs) ayant des valeurs de tension la plus élevée pour le matériel inférieures ou égales à 36 kV.

Elle ne s'applique pas aux petits transformateurs et transformateurs spéciaux de type sec suivants:

- transformateurs monophasés de puissance assignée inférieure à 1 kVA, et transformateurs polyphasés de puissance assignée inférieure à 5 kVA;
- transformateurs de mesure (faisant l'objet des Publications 185 de la CEI: Transformateurs de courant, et 186: Transformateurs de tension);
- transformateurs pour convertisseurs statiques (faisant l'objet des Publications 84 de la CEI: Recommandations pour les convertisseurs à vapeur de mercure, 119: Recommandations pour les cellules, éléments redresseurs et groupes redresseurs à semiconducteurs polycristallins, et 146: Convertisseurs à semi-conducteurs);
- transformateurs de démarrage;
- transformateurs d'essais;
- transformateurs de traction montés sur matériel roulant;
- transformateurs résistant au feu et transformateurs de mines;
- transformateurs de soudure;
- transformateurs de réglage de tension;
- petits transformateurs de puissance pour lesquels la sécurité doit être spécialement prise en considération.

Lorsqu'il n'existe pas de norme CEI pour les transformateurs mentionnés ci-dessus ou pour d'autres transformateurs spéciaux, la présente norme peut être appliquée en tout ou en partie.

Avec l'édition de la présente norme, les prescriptions de la Publication 76 de la CEI ne s'appliquent aux transformateurs de type sec que si la présente norme en fait mention.

S'il est fait référence à des articles et paragraphes spécifiques de diverses parties de la Publication 76 de la CEI, il est à retenir que ses éditions se présentent comme suit:

76-1, 76-2, 76-4, 76-5: 1976.
76-3: 1980.

2. Conditions de service

2.1 Conditions de service normales

La présente norme donne des prescriptions détaillées pour les transformateurs destinés à être utilisés dans les conditions suivantes:

a) Altitude:

Altitude au-dessus du niveau de la mer ne dépassant pas 1 000 m.

Note. — Pour des altitudes plus élevées, voir paragraphe 2.2.

DRY-TYPE POWER TRANSFORMERS

SECTION ONE — GENERAL

1. Scope

This standard applies to dry-type power transformers (including auto-transformers) having values of highest voltage for equipment up to and including 36 kV.

The following small and special dry-type transformers are not covered by this standard:

- single-phase transformers rated at less than 1 kVA and polyphase transformers rated at less than 5 kVA;
- instrument transformers (covered by IEC Publications 185: Current Transformers, and 186: Voltage Transformers);
- transformers for static convertors (covered by IEC Publications 84: Recommendations for Mercury-arc Convertors, 119: Recommendations for Polycrystalline Semiconductor Rectifier Stacks and Equipment, and 146: Semiconductor Convertors);
- starting transformers;
- testing transformers;
- traction transformers mounted on rolling stock;
- flameproof and mining transformers;
- welding transformers;
- voltage regulating transformers;
- small power transformers in which safety is a special consideration.

Where IEC standards do not exist for the transformers mentioned above or for other special transformers, this standard may be applicable as a whole or in parts.

With the publication of this standard, the requirements of IEC Publication 76 apply to dry-type transformers only in so far as they are referred to in this standard.

Where reference is made to specific clauses and sub-clauses of various parts of IEC Publication 76, it is to be understood that the editions are as follows:

76-1, 76-2, 76-4, 76-5: 1976.
76-3: 1980.

2. Service conditions

2.1 Normal service conditions

This standard gives detailed requirements for transformers for use under the following conditions:

a) Altitude:

A height above sea-level not exceeding 1 000 m (3 300 feet).

Note. — For greater altitudes, see Sub-clause 2.2.

b) Température de l'air de refroidissement:

N'excède en aucun cas 40 °C et ne doit jamais être inférieure à:

–25 °C pour les transformateurs de type extérieur;

–5 °C pour les transformateurs de type intérieur.

En outre, la température de l'air ne dépasse en aucun cas:

30 °C pour la température moyenne journalière;

20 °C pour la température moyenne annuelle.

Note. — Pour des températures plus élevées, voir paragraphe 2.2.

c) Forme d'onde de la tension d'alimentation:

Tension dont la forme d'onde est approximativement sinusoïdale.

d) Symétrie des tensions d'alimentation polyphasées:

Pour les transformateurs polyphasés, les tensions d'alimentation sont approximativement symétriques.

2.2 Dispositions pour conditions de service exceptionnelles

L'acheteur doit préciser, dans son appel d'offres, toutes les conditions de service non prévues dans les conditions de service normales du paragraphe 2.1 (voir annexe B).

Des prescriptions complémentaires, à l'intérieur de certaines limites, pour le régime assigné et les conditions d'essai de transformateurs prévus pour des conditions de service autres que les conditions normales indiquées au paragraphe 2.1, par exemple pour une température élevée de l'air de refroidissement ou une altitude supérieure à 1 000 m, sont indiquées aux paragraphes 10.2, 10.3 et 11.2.

Dans des conditions de température en dehors des limites du domaine des prescriptions complémentaires, ainsi que dans des conditions de fonctionnement exceptionnelles, par exemple en cas de refroidissement par une circulation d'air restreinte, l'échauffement admissible doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

3. Définitions

Les définitions ci-après sont applicables dans le cadre de la présente norme. Les autres termes utilisés ont la signification qui leur est attribuée dans les Publications de la CEI 76-1: Transformateurs de puissance, Première partie: Généralités, ou 50: Vocabulaire Electro-technique International (V.E.I.).

3.1 Transformateur de type sec

Transformateur dont le circuit magnétique et les enroulements ne sont pas immergés dans un diélectrique liquide.

Note — Le refroidissement d'un transformateur de type sec peut se faire par circulation naturelle, naturelle/forcée ou forcée (voir article 9).

3.1.1 Transformateur sec à enroulements enrobés

Transformateur de type sec ayant un ou plusieurs enroulements enrobés dans une isolation solide.

3.1.2 Transformateur sec à enroulements non enrobés

Transformateur de type sec n'ayant pas d'enroulement enrobé dans une isolation solide.

b) Temperature of cooling air:

Never exceeding 40 °C and never below:

- 25 °C in the case of outdoor transformers;
- 5 °C in the case of indoor transformers.

In addition, an ambient air temperature never exceeding the following values:

- 30 °C average in any one day;
- 20 °C average in any one year.

Note. — For higher temperatures, see Sub-clause 2.2.

c) Wave-shape of supply voltage:

A supply voltage of which the wave-shape is approximately sinusoidal.

d) Symmetry of polyphase supply voltages:

For polyphase transformers, supply voltages which are approximately symmetrical.

2.2 *Provision for unusual service conditions*

The purchaser shall specify in his enquiry any service conditions not covered by the normal service conditions in Sub-clause 2.1 (see Appendix B).

Supplementary requirements, within defined limits, for the rating and testing of transformers designed for other than normal service conditions listed in Sub-clause 2.1, such as high temperature of cooling air or altitude above 1 000 m (3 300 feet) are given in Sub-clauses 10.2, 10.3 and 11.2.

For temperature conditions outside the limits covered by the supplementary requirements and special operating conditions, for example restricted cooling air circulation, the temperature rise is to be subject to agreement between the manufacturer and the purchaser.

3. **Definitions**

For the purpose of this standard, the following definitions apply. Other terms used have the meanings ascribed to them in IEC Publications 76-1: Power Transformers, Part 1: General, or 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.).

3.1 *Dry-type transformer*

A transformer in which the core and windings are not immersed in an insulating liquid.

Note. — The cooling of a dry-type transformer may be natural, natural/forced or forced circulation (see Clause 9).

3.1.1 *Encapsulated-winding dry-type transformer*

A dry-type transformer having one or more windings encapsulated with solid insulation.

3.1.2 *Non-encapsulated-winding dry-type transformer*

A dry-type transformer having none of the windings encapsulated with solid insulation.

3.2 Termes concernant le contenant d'un transformateur sec

3.2.1 Transformateur sec hermétique

Transformateur de type sec immergé dans l'air ou dans un gaz, logé dans une cuve de protection scellée de manière à éviter un échange entre son contenu et l'atmosphère externe. On dit que ce transformateur ne « respire » pas.

Note. — Le gaz, dans un transformateur immergé dans un gaz, reste à l'état gazeux dans toutes les conditions de fonctionnement du transformateur.

3.2.2 Transformateur sec à habillage total

Transformateur de type sec immergé dans l'air, placé à l'intérieur d'une enveloppe de protection construite de telle manière que l'air ambiant ne circule pas pour refroidir le circuit magnétique et les enroulements, mais qu'il puisse y avoir des échanges avec l'atmosphère.

3.2.3 Transformateur sec habillé

Transformateur de type sec, placé à l'intérieur d'une enveloppe de protection construite de telle manière que l'air ambiant puisse circuler pour refroidir directement le circuit magnétique et les enroulements.

3.2.4 Transformateur sec non habillé

Transformateur de type sec sans enveloppe protectrice dans lequel le circuit magnétique et les enroulements sont refroidis par l'air ambiant.

4. Prises

Se reporter à la section un de la Publication 76-4 de la CEI: Transformateurs de puissance, Quatrième partie: Prises et connexions, mais si des prises sont demandées l'étendue de prises préférentielle est $\pm 5\%$, avec des échelons de $\pm 2,5\%$, c'est-à-dire $\pm 2,5\%$, $\pm 5\%$, au moyen de changeurs de prise hors tension.

5. Connexions

Se reporter à la section deux de la Publication 76-4 de la CEI.

6. Tenue au court-circuit

La Publication 76-5 de la CEI: Transformateurs de puissance, Cinquième partie: Tenue au court-circuit, s'applique aux transformateurs considérés dans la présente norme.

SECTION DEUX — RÉGIME ASSIGNÉ

7. Régime assigné

7.1 Généralités

Le constructeur doit indiquer les caractéristiques assignées du transformateur, qui seront inscrites sur la plaque signalétique (voir article 8). Ces valeurs assignées seront telles que le transformateur puisse délivrer son courant assigné en service continu, sans que soient dépassées les limites d'échauffement spécifiées dans la section trois, en supposant que la tension appliquée soit égale à la tension assignée et que la source soit à la fréquence assignée.

3.2 Terms relating to the containment of a dry-type transformer

3.2.1 Sealed dry-type transformer

An air or gas-immersed dry-type transformer within a sealed protective enclosure so constructed that there can be no interchange between its contents and the external atmosphere, i.e. the transformer is non-breathing.

Note. — The gas in a gas-immersed transformer remains in a gaseous state throughout the range of transformer operations.

3.2.2 Totally enclosed dry-type transformer

An air immersed dry-type transformer within a protective enclosure so constructed that the ambient air does not circulate to cool the core and windings, but which can breathe to atmosphere.

3.2.3 Enclosed dry-type transformer

A dry-type transformer within a protective enclosure so constructed that the ambient air may circulate so as to cool the core and windings directly.

3.2.4 Non-enclosed dry-type transformer

A dry-type transformer without a protective enclosure in which the core and windings are cooled by ambient air.

4. Tappings

As in Section One of IEC Publication 76-4: Power Transformers, Part 4: Tappings and Connections, but where tappings are required the preferred tapping range is $\pm 5\%$ in 2.5% steps, i.e. $\pm 2.5\%$, $\pm 5\%$, by means of off-circuit tap-changing.

5. Connections

See Section Two of IEC Publication 76-4.

6. Ability to withstand short circuit

IEC Publication 76-5: Power Transformers, Part 5: Ability to Withstand Short Circuit, applies to the transformers covered by this standard.

SECTION TWO — RATING

7. Rating

7.1 General

The manufacturer shall assign ratings to the transformer, which shall be marked on the rating plate (see Clause 8). These ratings shall be such that the transformer can deliver its rated current under steady loading conditions without exceeding the limits of temperature rise specified in Section Three, assuming that the applied voltage is equal to the rated voltage and that the supply is at rated frequency.

7.2 Puissance assignée

La puissance assignée doit tenir compte des conditions de service correspondant à celles spécifiées à l'article 2 et s'obtient en faisant le produit de la tension assignée par le courant assigné et le facteur de phase approprié indiqué dans le tableau I.

TABLEAU I
Facteurs de phase

Nombre de phases	Facteur de phase
1	1
3	$\sqrt{3}$

La puissance assignée correspond à un service continu; néanmoins, les transformateurs de type sec répondant à la présente norme peuvent être surchargés; des directives concernant les surcharges seront données, ultérieurement, dans un complément à la présente norme.

7.3 Valeurs préférentielles de la puissance assignée

Se reporter au paragraphe 4.3 de la Publication 76-1 de la CEI.

7.4 Fonctionnement à une tension supérieure à la tension assignée

Voir le paragraphe 4.4 de la Publication 76.1 de la CEI.

8. Plaques signalétiques

Chaque transformateur doit être muni d'une plaque signalétique résistant aux intempéries, fixée à un emplacement visible et donnant les indications énumérées ci-dessous. Les inscriptions doivent être portées de façon indélébile (par exemple par gravure, estampage, etc.).

- a) Type du transformateur (voir les définitions données à l'article 3).
- b) Numéro et année de la présente norme.
- c) Nom du constructeur.
- d) Numéro de série du constructeur.
- e) Année de fabrication.
- f) Température du système d'isolation et échauffement maximal admissible pour l'ensemble des enroulements, ou, s'il y a lieu, pour chaque enroulement (voir paragraphe 10.1).
- g) Nombre de phases.
- h) Puissance assignée pour chaque mode de refroidissement.
- i) Fréquence assignée.
- j) Tensions assignées et, le cas échéant, tensions de prises.
- k) Courants assignés pour chaque mode de refroidissement.
- l) Symbole de couplage.
- m) Tension de court-circuit à courant assigné, déterminée comme indiqué au paragraphe 8.4 de la Publication 76.1 de la CEI.

7.2 Rated power

The rated power shall take into account service conditions corresponding to those specified in Clause 2 and shall be related to the product of rated voltage, rated current and the appropriate phase factor given in Table I.

TABLE I
Phase factors

Number of phases	Phase factor
1	1
3	$\sqrt{3}$

The rated power corresponds to continuous duty; nevertheless, dry-type transformers complying with this standard can be overloaded and guidance on overloads will be given in a future supplement to this standard.

7.3 Preferred values of rated power

As Sub-clause 4.3 of IEC Publication 76-1.

7.4 Operation at higher than rated voltage

As Sub-clause 4.4 of IEC Publication 76-1.

8. Rating plates

Each transformer shall be provided with a rating plate of weatherproof material, fitted in a visible position, showing the items indicated below. The entries on the plate shall be indelibly marked (i.e. by etching, engraving or stamping).

- a) Kind of transformer (see definitions given in Clause 3).
- b) Number and year of this standard.
- c) Manufacturer's name.
- d) Manufacturer's serial number.
- e) Year of manufacture.
- f) Insulation system temperature and maximum permissible temperature rise for all windings, or for each individual winding, if applicable (see Sub-clause 10.1).
- g) Number of phases.
- h) Rated power for each kind of cooling.
- i) Rated frequency.
- j) Rated voltages, including tapping voltages, if any.
- k) Rated currents for each kind of cooling.
- l) Connection symbol.
- m) Impedance voltage at rated current determined according to Sub-clause 8.4 of IEC Publication 76-1.

- n) Type de refroidissement.
- o) Type de remplissage.
- p) Gamme de la pression de fonctionnement.
- q) Pressions absolues maximale et minimale pour lesquelles l'enveloppe est conçue.
- r) Pression et température du fluide de remplissage au moment de la fermeture.
- s) Masse totale.
- t) Niveaux d'isolement.

} applicable seulement
aux appareils hermétiques.

(Les tensions assignées de tenue pour tous les enroulements doivent apparaître sur la plaque signalétique. Les principes de la notation normalisée sont illustrés dans l'article 3 de la Publication 76-3 de la CEI: Transformateurs de puissance, Troisième partie: Niveaux d'isolement et essais diélectriques.)

SECTION TROIS — MÉTHODES DE REFROIDISSEMENT ET ÉCHAUFFEMENT

9. Désignation suivant le mode de refroidissement

9.1 Symboles de désignation

Les transformateurs doivent être désignés d'après le mode de refroidissement utilisé. Les symboles littéraux correspondant à chaque mode de refroidissement sont mentionnés au tableau II.

TABLEAU II
Symboles littéraux

Nature de l'agent de refroidissement	Symbole
Air	A
Gaz	G
Nature de la circulation	
Naturelle	N
Forcée	F

9.2 Disposition des symboles

Les transformateurs sans enveloppe de protection ou logés dans une enveloppe aérée sont désignés par deux symboles seulement pour l'agent de refroidissement (air) qui est en contact avec les enroulements ou le revêtement de surface des enroulements.

Tous les autres transformateurs seront désignés par quatre symboles pour chacun des modes de refroidissement pour lequel un régime assigné est indiqué par le constructeur.

- n) Type of cooling.
- o) Type of filling.
- p) Operating pressure range.
- q) Maximum and minimum absolute pressures for which the enclosure is designed
- r) Pressure and temperature of filling medium at the time of sealing.
- s) Total mass.
- t) Insulation levels.

} applicable only
to sealed units.

(The rated withstand voltages for all windings shall appear on the rating plate. The principles of the standard notation are illustrated in Clause 3 of IEC Publication 76-3: Power Transformers, Part 3: Insulation Levels and Dielectric Tests.)

SECTION THREE — COOLING METHODS AND TEMPERATURE RISE

9. Identification according to cooling method

9.1 Identification symbols

Transformers 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 II.

TABLE II
Letter symbols

Kind of cooling medium	Symbol
Air	A
Gas	G
Kind of circulation	
Natural	N
Forced	F

9.2 Arrangement of symbols

Transformers without protective enclosures or within enclosures through which the cooling air can circulate are identified by two symbols only for the cooling medium (air) which is in contact with the windings or the surface coating of the windings.

All other transformers shall be identified by four symbols for each cooling method for which a rating is assigned by the manufacturer.

L'ordre dans lequel les symboles doivent être utilisés est indiqué dans le tableau III. Des barres obliques seront utilisées pour séparer les groupes de symboles des différents modes de refroidissement de la même partie de l'équipement.

TABLEAU III
Ordre des symboles

1 ^{re} lettre	2 ^e lettre	3 ^e lettre	4 ^e lettre
Concerne l'agent de refroidissement qui est en contact avec les enroulements		Concerne l'agent de refroidissement qui est en contact avec le système de refroidissement extérieur	
Nature de l'agent de refroidissement	Nature de la circulation	Nature de l'agent de refroidissement	Nature de la circulation

Par exemple, le mode de refroidissement d'un transformateur sans enveloppe de protection ou placé dans une enveloppe aérée, à refroidissement naturel par air, est désigné par:

AN

Pour un transformateur placé dans une enveloppe de protection sans aération, à refroidissement interne et externe naturel par air, la désignation est:

ANAN

Pour un transformateur placé dans une enveloppe hermétique à refroidissement interne naturel par azote et à refroidissement externe soit par air naturel, soit par air forcé, la désignation est:

GNAN/GNAF

10. Limites d'échauffement

10.1 Limites normales d'échauffement

Les échauffements des enroulements du circuit magnétique et des parties métalliques des transformateurs destinés à fonctionner à des altitudes ne dépassant pas celles qui sont indiquées au point a) du paragraphe 2.1 et dont les températures de l'air de refroidissement externe sont conformes aux indications du point b) du paragraphe 2.1, ne doivent pas dépasser les limites spécifiées dans le tableau IV quand les essais sont faits conformément à l'article 21.

Les températures de point chaud figurant dans la colonne 2 ne sont approuvées pour les échauffements d'enroulement spécifiés dans la colonne 3 que pour l'application à l'isolation des appareils couverts par la présente norme.

Les matériaux isolants peuvent être utilisés séparément ou en assemblage complexe pourvu que, dans toute application, aucun des systèmes ne soit soumis de façon permanente à une température supérieure à celle pour laquelle son fonctionnement est prévu dans les conditions assignées.

En outre, les caractéristiques électriques et mécaniques de l'enroulement isolé ne doivent pas être altérées par l'application de la température du point le plus chaud admise pour le système d'isolation spécifique.

Note. — Dans la colonne 2 du tableau IV, les lettres se rapportent aux classifications de température données dans la Publication 85 de la CEI: Recommandations relatives à la classification des matières destinées à l'isolement des machines et appareils électriques en fonction de leur stabilité thermique en service.

The order in which the symbols are used shall be as given in Table III. Oblique strokes shall be used to separate the group of symbols for different cooling methods for the same piece of equipment.

TABLE III
Order of symbols

1st letter	2nd letter	3rd letter	4th letter
Indicating the cooling medium that is in contact with the windings		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, the cooling method of a transformer without a protective enclosure or within an enclosure through which the cooling air can circulate and with natural air cooling is designated by:

AN

For a transformer within a protective enclosure through which the cooling air cannot circulate, with natural air cooling inside and outside the enclosure, the designation is:

ANAN

For a transformer in a sealed enclosure with natural nitrogen cooling inside and alternatives of natural or forced air cooling outside the enclosure, the designation is:

GNAN/GNAF

10. Temperature-rise limits

10.1 Normal temperature-rise limits

The temperature rises of the windings, core and metal parts of transformers designed for operation at altitudes not exceeding those given in Item *a*) of Sub-clause 2.1 and with external cooling air temperature as described in Item *b*) of Sub-clause 2.1 shall not exceed the limits specified in Table IV when tested in accordance with Clause 21.

The hot-spot temperatures given in column 2 are approved for the winding temperature rises specified in column 3 only when used in the insulation of apparatus within the scope of this standard.

Insulating materials may be used separately or in a combination providing that, in any application, each system will not be continuously subjected to a temperature in excess of that for which it is suitable when operating under rated conditions.

Furthermore, the electrical and mechanical properties of the insulated winding must not be impaired by the application of the hot-spot temperature permitted for the specific insulation system.

Note. — In column 2 of Table IV the letters refer to temperature classifications given in IEC Publication 85: Recommendations for the Classification of Materials for the Insulation of Electrical Machinery and Apparatus in Relation to Their Thermal Stability in Service.

TABLEAU IV
Limites d'échauffement

1	2	3
Partie	Température du système d'isolation (°C)	Echauffement maximal (K)
Enroulements (échauffement mesuré par la méthode de variation de résistance)	105 (A) 120 (E) 130 (B) 155 (F) 185 (H) 220 (C)	60 75 80 100 125 150
Circuit magnétique, parties métalliques et matériaux adjacents		La température ne doit, en aucun cas, atteindre une valeur telle qu'elle endommage le circuit magnétique lui-même, ou d'autres parties ou des matériaux adjacents.

10.2 Réduction des échauffements dans le cas de transformateurs prévus pour une température élevée de l'air de refroidissement ou pour des conditions spéciales de refroidissement par air

Si le transformateur est conçu pour un fonctionnement avec une température de l'air de refroidissement dépassant l'une des valeurs maximales indiquées au point b) du paragraphe 2.1 sans que ce dépassement excède 10 K, les échauffements admissibles des enroulements seront réduits:

- de 5 K si ce dépassement de température est inférieur ou égal à 5 K;
- de 10 K si ce dépassement de température est supérieur à 5 K et inférieur ou égal à 10 K.

Si ce dépassement de température excède l'une des valeurs indiquées au point b) du paragraphe 2.1 de plus de 10 K, les échauffements admissibles devront faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

Toutes conditions du lieu d'installation susceptibles soit d'imposer des restrictions sur l'air de refroidissement, soit de produire des températures élevées de l'air ambiant, devront être spécifiées par l'acheteur.

10.3 Réduction des échauffements pour les transformateurs prévus pour des altitudes élevées

Sauf accord contraire entre le constructeur et l'acheteur, pour les transformateurs prévus pour fonctionner à des altitudes supérieures à 1 000 m, mais essayés à des altitudes normales, les limites d'échauffement données dans le tableau IV sont réduites des quantités suivantes pour chaque tranche de 500 m au-dessus de 1 000 m:

- transformateurs à refroidissement naturel par air: 2,5%;
- transformateurs à refroidissement forcé par air: 5%.

Note. — Si des transformateurs qui ont été étudiés pour fonctionner au-dessous de 1 000 m sont essayés à des altitudes supérieures à 1 000 m, les échauffements mesurés devront être réduits des quantités mentionnées ci-dessus pour chaque tranche de 500 m au-dessus de 1 000 m.

TABLE IV
Temperature-rise limits

1	2	3
Part	Insulation system temperature (°C)	Maximum temperature rise (K)
Windings (temperature rise measured by the resistance method)	105 (A) 120 (E) 130 (B) 155 (F) 185 (H) 220 (C)	60 75 80 100 125 150
Core, metallic parts and adjacent materials		The temperature shall, in no case, reach a value that will damage the core itself, other parts or adjacent materials

10.2 *Reduced temperature rises for transformers designed for high cooling air temperatures or special air cooling conditions*

If the transformer is designed for service where the temperature of the cooling air exceeds one of the maximum values specified in Item *b)* of Sub-clause 2.1 by no more than 10 K, the allowable temperature rises for the windings shall be reduced:

- by 5 K if the excess temperature is less than or equal to 5 K;
- by 10 K if the excess temperature is greater than 5 K and less than or equal to 10 K.

Where the excess temperature exceeds one of the values specified in Item *b)* of Sub-clause 2.1 by more than 10 K, the allowable temperature rises require an agreement between the manufacturer and the purchaser.

Any site conditions which may either impose restrictions on the cooling air or produce high ambient air temperatures should be stated by the purchaser.

10.3 *Reduced temperature rises for transformers designed for high altitudes*

Unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser, for transformers designed for operation at an altitude greater than 1 000 m but tested at normal altitudes, the limits of temperature rise given in Table IV are reduced by the following amounts for each 500 m by which the intended working altitude exceeds 1 000 m:

- natural-air-cooled transformers: 2.5%;
- forced-air-cooled transformers: 5%.

Note. — If transformers which are designed for operation below 1 000 m are tested at altitudes above 1 000 m, the measured temperature rises are to be reduced by the above-mentioned amounts for each 500 m by which the test altitude exceeds 1 000 m.

SECTION QUATRE — NIVEAUX D'ISOLEMENT

11. Niveaux d'isolement

11.1 Généralités

Quand les transformateurs sont conçus pour des réseaux de distribution de puissance, publics ou industriels, les niveaux d'isolement doivent être ceux qui sont donnés dans le tableau V, liste 1 ou 2. Le choix entre la liste 1 et la liste 2 sera effectué en considérant le degré d'exposition du matériel aux surtensions de manœuvre et de foudre, le mode de mise à la terre du neutre et, s'il y a lieu, le type de dispositif de protection contre les surtensions (voir la Publication 71 de la C E I: Coordination de l'isolement).

Cependant, dans le cas d'utilisation dans des réseaux particuliers où les exigences d'isolement sont plus faibles que dans le cas général et où il n'est pas demandé que les transformateurs soient essayés à des tensions de tenue au choc de foudre, la tension d'essai à fréquence industrielle appliquée peut être inférieure à la valeur spécifiée dans le tableau V s'il est prouvé, par expérience, que cela est admissible. Il n'est pas recommandé, ici, de valeurs précises.

TABLEAU V
Niveaux d'isolement

Tension la plus élevée pour le matériel U_m (valeur efficace) (kV)	Tension de tenue assignée de courte durée à fréquence industrielle (valeur efficace) (kV)	Tension de tenue assignée au choc de foudre (valeur de crête) (kV)	
		Liste 1	Liste 2
≤ 1,1	3	—	—
3,6	10	20	40
7,2	20	40	60
12	28	60	75
17,5	38	75	95
24	50	95	125
36	70	145	170

11.2 Transformateurs pour utilisation à des altitudes élevées

Quand les transformateurs sont conçus pour fonctionner à des altitudes comprises entre 1 000 m et 3 000 m au-dessus du niveau de la mer, mais essayés à une altitude normale, la tension de tenue assignée de courte durée à fréquence industrielle est augmentée de 6,25% pour chaque tranche de 500 m au-dessus de 1 000 m.

Note. — La règle ci-dessus ne s'applique pas aux transformateurs secs hermétiques, mais il y aura lieu de considérer spécialement les traversées.

SECTION CINQ — ESSAIS

12. Prescriptions générales pour les essais

Les transformateurs doivent être soumis aux essais décrits ci-après.

Les essais doivent être effectués dans les ateliers du constructeur à moins que le constructeur et l'acheteur n'en aient convenu autrement.

SECTION FOUR — INSULATION LEVELS

11. Insulation levels

11.1 General

When transformers are intended for general power distribution in public or industrial systems, the insulation levels shall be those given in Table V, List 1 or 2. The choice between Lists 1 and 2 should be made by considering the degree of exposure to lightning and switching overvoltages, the type of system neutral earthing and, where applicable, the type of over-voltage protective device (see IEC Publication 71: Insulation Co-ordination).

However, for application in particular systems where the insulation requirements are lower than in general and where the transformers are not required to be tested with lightning impulse withstand voltages, the power frequency test voltage applied may be below the value specified in Table V where experience has proved this to be permissible. No definite figures are recommended here.

TABLE V

Insulation levels

Highest voltage for equipment U_m (r.m.s.) (kV)	Rated short duration power frequency withstand voltage (r.m.s.) (kV)	Rated lightning impulse withstand voltage (peak value) (kV)	
		List 1	List 2
≤ 1.1	3	—	—
3.6	10	20	40
7.2	20	40	60
12	28	60	75
17.5	38	75	95
24	50	95	125
36	70	145	170

11.2 Transformers for use at high altitudes

When the transformers are specified for operation at altitudes between 1 000 m and 3 000 m above sea-level, but tested at normal altitude, the rated short duration power frequency withstand voltage shall be increased by 6.25% for each 500 m by which the altitude of the installation exceeds 1 000 m.

Note. — The above does not apply to sealed dry-type transformers but special consideration should be given to bushings.

SECTION FIVE — TESTS

12. General requirements for tests

Transformers shall be subjected to tests as specified below.

Tests shall be made at the manufacturer's works, unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser.

Les essais diélectriques selon les articles 17, 18 et 19 seront effectués avec le transformateur approximativement à la température ambiante.

Tous les éléments constitutifs et accessoires extérieurs susceptibles d'influencer le fonctionnement du transformateur pendant l'essai doivent être en place.

Les enroulements à prises doivent être reliés à leur prise principale, à moins que le constructeur et l'acheteur n'en aient convenu autrement.

La base d'essai de toutes les caractéristiques autres que l'isolation est la condition assignée, à moins qu'une clause particulière d'essai n'en décide autrement.

La température de référence à laquelle sont ramenées les pertes dues à la charge, la tension de court-circuit et l'impédance de court-circuit doit être égale à l'échauffement maximal des enroulements tel qu'il est donné dans la colonne 3 du tableau IV majoré de 20 K.

Note. — Quand la température de système d'isolation n'est pas la même pour tous les enroulements, on n'utilise qu'une seule température de référence, en l'occurrence celle qui est relative à l'enroulement ayant la température du système d'isolation la plus élevée.

13. Mesure de la résistance des enroulements (essai individuel)

Se reporter au paragraphe 8.2 de la Publication 76-1 de la CEI.

14. Mesure du rapport de transformation et contrôle du couplage (essai individuel)

Se reporter au paragraphe 8.3 de la Publication 76-1 de la CEI.

15. Mesure de la tension de court-circuit (prise principale), de l'impédance de court-circuit et des pertes dues à la charge (essai individuel)

Se reporter au paragraphe 8.4 de la Publication 76-1 de la CEI.

16. Mesure des pertes et du courant à vide (essai individuel)

Se reporter au paragraphe 8.5 de la Publication 76-1 de la CEI.

17. Essai diélectrique par tension appliquée (essai individuel)

Se reporter à l'article 10 de la Publication 76-3 de la CEI.

La tension d'essai doit être conforme au tableau V (paragraphe 11.1) pour le niveau d'isolement spécifié du transformateur, si aucune autre valeur n'a fait l'objet d'un accord entre constructeur et acheteur.

La pleine tension d'essai est appliquée pendant 60 s entre l'enroulement en essai et tous les autres enroulements, le circuit magnétique, le bâti et l'enveloppe du transformateur, reliés ensemble à la terre.

18. Essai diélectrique par tension induite (essai individuel)

Se reporter aux paragraphes 11.1 et 11.2 de la Publication 76-3 de la CEI.

La tension d'essai doit être égale à deux fois la valeur que donnerait l'application de la tension assignée à un enroulement sans prise du transformateur.

Dielectric tests in accordance with Clauses 17, 18 and 19 shall be made with the transformer at approximately ambient temperature.

All external components and fittings that are likely to affect the performance of the transformer during each test shall be in place.

Tapped windings shall be connected on their principal tapping unless the manufacturer and the purchaser agree otherwise.

The test basis for all characteristics other than insulation is the rated condition, unless the test clause states otherwise.

The reference temperature to which the load loss, impedance voltage and short-circuit impedance are to be corrected shall be the maximum winding temperature rise as given in column 3 of Table IV plus 20 K.

Note. — When a transformer has windings of different insulation system temperatures only one reference temperature is to be used, that is, the one relating to the winding having the higher insulation system temperature.

13. Measurement of winding resistance (routine test)

Refer to Sub-clause 8.2 of IEC Publication 76-1.

14. Measurement of voltage ratio and check of voltage vector relationship (routine test)

Refer to Sub-clause 8.3 of IEC Publication 76-1.

15. Measurement of impedance voltage (principal tapping), short-circuit impedance and load loss (routine test)

Refer to Sub-clause 8.4 of IEC Publication 76-1.

16. Measurement of no-load loss and current (routine test)

Refer to Sub-clause 8.5 of IEC Publication 76-1.

17. Separate-source voltage withstand test (routine test)

Refer to Clause 10 of IEC Publication 76-3.

The test voltage shall be in accordance with Table V (Sub-clause 11.1) for the specified insulation level of the transformer, if no other value has been agreed upon by the manufacturer and purchaser.

The full test voltage shall be applied for 60 s between the winding under test and all the remaining windings, core, frame and transformer enclosure, connected to earth.

18. Induced overvoltage withstand test (routine test)

Refer to Sub-clauses 11.1 and 11.2 of IEC Publication 76-3.

The test voltage shall be twice the value corresponding to the rated voltage across an untapped winding of the transformer.

La durée de l'essai à la pleine tension est de 60 s pour toute fréquence d'essai inférieure ou égale à deux fois la fréquence assignée.

Lorsque la fréquence d'essai dépasse le double de la fréquence assignée, la durée de l'essai doit être:

$$120 \cdot \frac{\text{fréquence assignée}}{\text{fréquence d'essai}} \text{ secondes}$$

avec un minimum de 15 s.

19. Essai au choc de foudre (essai de type)

Se reporter à l'article 12 de la Publication 76-3 de la CEI.

La tension d'essai doit être conforme à la liste 1 ou la liste 2 du tableau V (paragraphe 11.1) pour le niveau d'isolement spécifié du transformateur.

Le choc appliqué lors de l'essai doit être un choc de foudre normalisé plein:

$$1,2 \pm 30\% / 50 \pm 20\% \mu s$$

La tension d'essai est normalement de polarité négative. La séquence d'essais, pour chacune des bornes de ligne, consiste en un choc d'étalonnage, d'amplitude comprise entre 50% et 75% de la pleine tension, suivi de trois chocs à la pleine tension.

Par accord entre constructeur et acheteur établi au moment de l'appel d'offre, des essais pourront être effectués en polarité positive; dans ce cas, il y aura lieu d'éviter les brusques changements de polarité.

Note. — Dans les transformateurs de type sec, l'essai de tenue au choc de foudre peut donner naissance à des décharges partielles capacitatives dans l'air, qui ne présentent pas de danger pour l'isolation. Ces décharges partielles provoquent des modifications dans la forme des ondes de courant, tandis que la forme des ondes de tension ne varie que légèrement ou pas du tout.

20. Mesure des décharges partielles (essai spécial)

20.1 Généralités

La mesure des décharges partielles est exécutée en conformité avec la Publication 270 de la CEI: Mesure des décharges partielles, et l'annexe A de la Publication 76-3 de la CEI. Elle peut être effectuée sur toutes les sortes de transformateurs de type sec, mais elle est plus particulièrement indiquée pour les transformateurs ayant des enroulements enrobés.

20.2 *Circuit de mesure* (à titre d'exemple)

Le principe du circuit de mesure des décharges partielles est indiqué sur les figures 1 et 2, page 26.

Sur les figures, un condensateur exempt de décharges partielles, C (ayant une capacité très supérieure à la capacité du générateur d'étalonnage, C_0) en série avec une impédance de détection, Z_m , est connecté à chacune des bornes haute tension.

20.3 *Etalonnage du circuit de mesure*

L'atténuation des impulsions se produit à la fois dans les enroulements et dans le circuit de mesure. L'étalonnage est effectué conformément aux indications de l'annexe A de la Publication 76-3 de la CEI en injectant des impulsions, simulées au moyen d'un générateur de décharges calibrées, aux bornes du transformateur. Le taux de répétition des impulsions d'étalonnage doit être de l'ordre du double de la fréquence de la tension d'excitation.

The duration of the test at full voltage shall be 60 s for any test frequency up to and including twice the rated frequency.

When the test frequency exceeds twice the rated frequency, the duration of the test shall be:

$$120 \cdot \frac{\text{rated frequency}}{\text{test frequency}} \text{ seconds}$$

but not less than 15 s.

19. Lightning impulse test (type test)

Refer to Clause 12 of IEC Publication 76-3.

The test voltage shall be in accordance with List 1 or List 2 of Table V (Sub-clause 11.1), for the specified insulation level of the transformer.

The test impulse shall be a full standard lightning impulse:

$$1.2 \pm 30\%/50 \pm 20\% \mu\text{s}$$

The test voltage shall normally be of negative polarity. The test sequence per line terminal shall be one calibration impulse at a voltage between 50% and 75% of the full voltage followed by three impulses at full voltage.

By agreement between the manufacturer and the purchaser at the time of the enquiry, tests may be made with positive polarity, but in this case sudden changes of polarity have to be avoided.

Note. — In dry-type transformers, the lightning impulse test can give rise to capacitive partial discharges in the air which do not endanger the insulation. These partial discharges lead to changes in the current waveform, whilst the voltage waveform varies only slightly or not at all.

20. Partial discharge measurement (special test)

20.1 General

The partial discharge measurement is performed in accordance with IEC Publication 270: Partial Discharge Measurements, and with Appendix A of IEC Publication 76-3. It may be performed on all kinds of dry-type transformers, but is especially applicable to transformers having encapsulated windings.

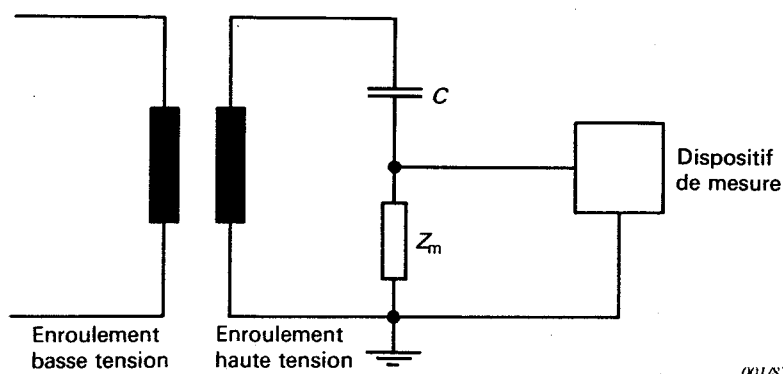
20.2 Basic measuring circuit (typical only)

A basic measuring circuit for the partial discharge test is shown in Figures 1 and 2, page 27.

In the figures a partial discharge-free capacitor, C (having a capacitance value large in comparison with the calibration generator capacitance, C_0) in series with a detection impedance, Z_m , is connected to each of the high-voltage terminals.

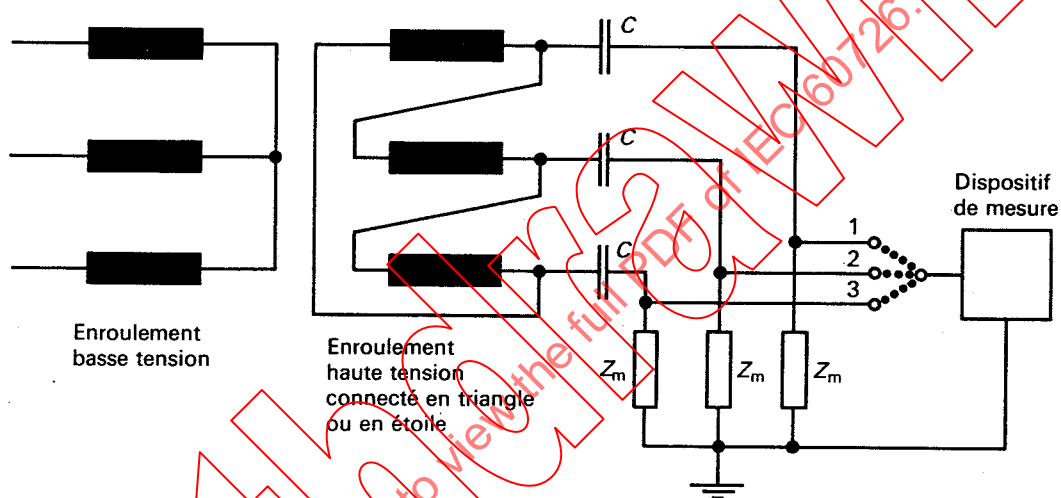
20.3 Calibration of the measuring circuit

Attenuation of the discharge pulses occurs both within the windings and in the measuring circuit. Calibration is carried out as described in Appendix A of IEC Publication 76-3, by injecting simulated discharge pulses from a standard discharge calibrator at the transformer terminals. The repetition rate of calibration pulses should be of the order of twice the frequency of the excitation voltage.



001/82

FIG. 1. — Principe du circuit de mesure des décharges partielles pour un transformateur monophasé.



002/82

FIG. 2. — Principe du circuit de mesure des décharges partielles pour un transformateur triphasé.

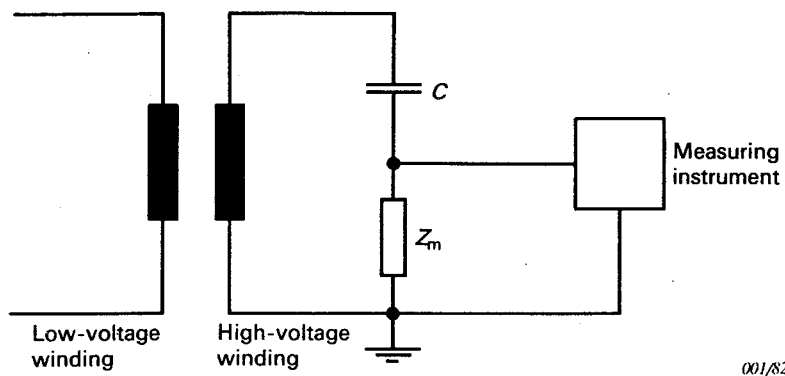
20.4 Modalités d'application de la tension

La mesure de décharges partielles est effectuée après achèvement de tous les essais diélectriques. L'enroulement basse tension est alimenté à partir d'une source triphasée ou monophasée selon que le transformateur est lui-même triphasé ou monophasé. La tension sera aussi proche que possible de la forme sinusoïdale et de fréquence convenablement augmentée au-dessus de la fréquence assignée afin d'éviter un courant magnétisant excessif au cours de l'essai. La manière de procéder doit être comme indiqué au paragraphe 20.4.1 ou 20.4.2.

Note. — Lorsque la tension de service d'un transformateur est très inférieure à la valeur spécifiée de la tension la plus élevée pour le matériel, des valeurs plus faibles pour la tension de précontrainte et la tension de mesure peuvent être choisies par accord entre constructeur et acheteur.

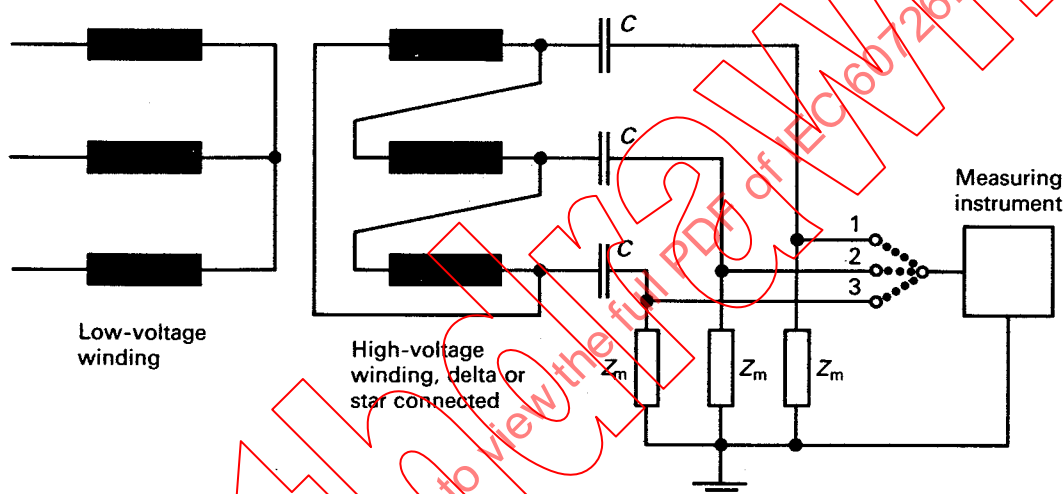
20.4.1 Transformateurs triphasés

- a) Enroulements destinés à être raccordés à des réseaux qui sont solidement mis à la terre ou qui sont mis à la terre par l'intermédiaire d'une impédance de faible valeur:



001/82

FIG. 1. — Basic measuring circuit for the partial discharge test for a single-phase transformer.



002/82

FIG. 2. — Basic measuring circuit for the partial discharge test for a three-phase transformer.

20.4 Voltage application

The partial discharge measurement shall be carried out after all dielectric tests are completed. The low-voltage winding shall be supplied from a three-phase or single-phase source, depending on whether the transformer itself is three-phase or single-phase. The voltage shall be as nearly as possible of sine-wave form and of a frequency suitably increased above the rated frequency to avoid excessive excitation current during the test. The procedure shall be as in Sub-clause 20.4.1 or 20.4.2.

Note. — When the operating voltage of a transformer is well below the voltage stated for the highest voltage for equipment, lower values for the pre-stress voltage and the measuring voltage may be selected by agreement between the manufacturer and the purchaser.

20.4.1 Three-phase transformers

- a) Windings intended for connection to systems which are solidly earthed or earthed through a low impedance:

une tension de précontrainte entre ligne et terre de $\frac{1,5 U_m}{\sqrt{3}}$ est induite pendant 30 s (U_m étant la tension la plus élevée pour le matériel), suivie sans interruption par une tension entre ligne et terre de $\frac{1,1 U_m}{\sqrt{3}}$ pendant 3 min, au cours desquelles les décharges partielles sont mesurées.

- b) Enroulements destinés à être raccordés à des réseaux qui sont isolés ou mis à la terre par l'intermédiaire d'une impédance de forte valeur (par exemple une bobine d'extinction d'arc):

une tension de précontrainte entre phases de $1,5 U_m$ est induite pendant 30 s, avec une borne de ligne mise à la terre, suivie sans interruption d'une tension entre phases de $1,1 U_m$ pendant 3 min, au cours desquelles les décharges partielles sont mesurées. Cet essai est répété avec une autre borne de ligne mise à la terre.

20.4.2 Transformateurs monophasés

Les transformateurs monophasés pour utilisation sur réseaux triphasés sont essayés de la même façon que les transformateurs triphasés, étant entendu que la tension la plus élevée pour le matériel, U_m , est une tension entre phases.

En outre, dans le cas d'un transformateur monophasé raccordé entre phase et neutre et essayé selon le point b) du paragraphe 20.4.1, la répétition de l'essai avec une autre borne de ligne mise à la terre n'est pas applicable.

20.5 Niveaux limites de décharges partielles

Le niveau limite des décharges partielles mesurées selon la méthode ci-dessus doit faire l'objet d'un accord entre constructeur et acheteur.

En cas de litige, des méthodes d'investigation comme indiqué dans l'annexe A de la Publication 76-3 de la CEI seront applicables.

21. Essai d'échauffement (essai de type)

Se reporter aux paragraphes 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.3, 3.9.1, 3.9.2 et 3.9.3 de la Publication 76-2 de la CEI: Transformateurs de puissance, Deuxième partie: Echauffement.

21.1 Méthodes de mise en charge

Au choix du constructeur, l'une des méthodes suivantes peut être appliquée.

21.1.1 Méthode de mise en charge directe*

Un enroulement du transformateur, de préférence l'enroulement interne, est soumis à sa tension assignée, l'autre étant connecté sur une charge convenable telle que les courants assignés circulent dans les deux enroulements.

21.1.2 Méthode d'opposition*

Cette méthode est préférentielle. Elle est applicable quand on peut disposer de deux transformateurs semblables.

* La durée de l'essai peut être réduite en mettant le circuit magnétique sous tension pendant quelque temps (de préférence au moins 12 h) avant la mise en circulation du courant d'essai dans les enroulements.

a line-to-earth pre-stress voltage of $\frac{1.5 U_m}{\sqrt{3}}$ shall be induced for 30 s (U_m being the highest voltage for the equipment), followed without interruption by a line-to-earth voltage of $\frac{1.1 U_m}{\sqrt{3}}$ for 3 min, during which the partial discharge shall be measured.

- b) Windings intended for connection to systems which are isolated or earthed through a considerable impedance (e.g. an arc-suppression coil):

a phase-to-phase pre-stress voltage of $1.5 U_m$ shall be induced for 30 s, with one line terminal earthed, followed without interruption by a phase-to-phase voltage of $1.1 U_m$ for 3 min during which the partial discharge shall be measured. This test shall be repeated with another line terminal earthed.

20.4.2 Single-phase transformers

Single-phase transformers for use on three-phase systems shall be tested as for three-phase transformers, bearing in mind that the highest voltage for equipment, U_m , is a phase-to-phase voltage.

Furthermore, in the case of a single-phase transformer connected phase-to-neutral and tested according to Item b) of Sub-clause 20.4.1, repeating the test with another line terminal earthed does not apply.

20.5 Partial discharge acceptance levels

The acceptance level for the partial discharge measured as above shall be subject to agreement between the manufacturer and the purchaser.

In cases of dispute, investigational procedures as detailed in Appendix A of IEC Publication 76-3 shall be applied.

21. Temperature-rise test (type test)

Refer to Sub-clauses 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.3, 3.9.1, 3.9.2 and 3.9.3 of IEC Publication 76-2. Power Transformers, Part 2: Temperature Rise.

21.1 Methods of loading

At the choice of the manufacturer, any of the following methods may be applied.

21.1.1 Direct loading method*

One winding, preferably the inner winding, of the transformer is excited at rated voltage with the other connected to a suitable load such that rated currents flow in both windings.

21.1.2 Back-to-back method*

This is the preferred method, applicable when there are two similar transformers available.

* The duration of the test may be reduced by exciting the core for a period of time (preferably not less than 12 h) prior to the application of test current to the windings.

Deux transformateurs, dont l'un est le transformateur en essai, sont connectés en parallèle et alimentés, de préférence par l'enroulement interne, sous la tension assignée du transformateur en essai. En utilisant soit des rapports de transformation différents, soit une tension injectée, on fait circuler le courant assigné dans le transformateur en essai.

21.1.3 Méthode de mise en charge simulée (par accord entre constructeur et acheteur)

Cette méthode est utilisée pour un matériel de type sec habillé ou non habillé à refroidissement naturel dans l'air, quand on ne dispose que d'un seul appareil à essayer, ou quand, tout en disposant d'un transformateur semblable, on est limité par les possibilités de l'installation d'essai.

Les essais d'échauffement sont effectués en utilisant les échauffements obtenus au cours de deux essais séparés, l'un avec seulement les pertes à vide, et l'autre avec seulement les pertes dues à la charge, c'est-à-dire en court-circuit.

L'essai à vide, à la tension assignée, est poursuivi jusqu'à obtention du régime établi; les échauffements individuels des enroulements, $\Delta\theta_e$, sont alors mesurés.

L'essai en court-circuit, un enroulement étant parcouru par le courant assigné et l'autre enroulement court-circuité, s'effectue immédiatement après l'essai à vide. Il est poursuivi jusqu'à ce que le régime établi soit atteint; les échauffements de chacun des enroulements, $\Delta\theta_e$, sont alors mesurés.

L'échauffement global, $\Delta\theta'_e$, de chaque enroulement pour le courant assigné dans l'enroulement et l'excitation normale du circuit magnétique est alors calculé par la formule suivante:

$$\Delta\theta'_e = \Delta\theta_e \left[1 + \left(\frac{\Delta\theta_e}{\Delta\theta_c} \right)^{1,25} \right]^{0,8}$$

Note. — Pour d'autres types de transformateur, il peut être nécessaire de modifier la formule.

21.2 Correction d'échauffement des enroulements en cas de courant réduit

Si le courant d'essai I_t est inférieur à la valeur assignée du courant I_N , mais au moins égal à 90% de I_N , les échauffements, $\Delta\theta_t$, des enroulements seront mesurés par la méthode de variation de résistance quand le régime établi aura été atteint, et corrigés pour obtenir les échauffements, $\Delta\theta_N$, pour les conditions assignées de charge en utilisant la formule:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta_t \left[\frac{I_N}{I_t} \right]^q$$

On prend pour q la valeur suivante:

transformateurs AN: 1,6;

transformateurs AF: 1,8.

21.3 Détermination des conditions d'équilibre thermique

L'échauffement final est atteint quand l'échauffement devient constant; on considère que cela est obtenu quand l'échauffement ne varie pas, en une heure, de plus de 2% de l'échauffement admissible ou de 2 K. On retiendra la plus petite de ces deux valeurs.

Afin de déterminer si les conditions d'équilibre thermiques ont été atteintes, des thermocouples ou des thermomètres seront mis en place sur les surfaces suivantes:

Two transformers, one of which is the transformer under test, are connected in parallel, and preferably the inner windings are excited at the rated voltage of the transformer under test. By means of different voltage ratios or an injected voltage, the rated current is made to flow in the transformer under test.

21.1.3 Simulated load method (by agreement between the manufacturer and purchaser)

This method is used for an enclosed or non-enclosed dry-type unit with natural air cooling, when only the transformer under test is available, or when there is a similar transformer available but there are limitations on the test equipment.

Temperature tests are made by utilizing the rises obtained on two tests, one with no-load loss only, and one with load losses only, i.e., short-circuit run.

The no-load test, at rated voltage, is continued until steady-state conditions are obtained; individual winding temperature rises, $\Delta\theta_c$, are then measured.

The short-circuit run with rated current flowing in one winding and the other winding short-circuited is started immediately following the no-load run, and continued until steady-state conditions are obtained when the individual winding temperature rises, $\Delta\theta_c$, are measured.

The total winding rise, $\Delta\theta'_c$, of each winding, with rated current in the winding and normal excitation of the core, is calculated by the following formula:

$$\Delta\theta'_c = \Delta\theta_c \left[1 + \left(\frac{\Delta\theta_c}{\Delta\theta_c} \right)^{1.25} \right]^{0.8}$$

Note. — For other types of transformer, modifications to the formula may be necessary.

21.2 Winding temperature-rise correction for reduced current

When the input test current I_t is below the rated value of current I_N , but not less than 90% I_N , of the temperature rises, $\Delta\theta_t$, of the windings, shall be measured by the resistance method when steady-state conditions have been reached, and corrected to rated load conditions, $\Delta\theta_N$, by the formula:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta_t \left[\frac{I_N}{I_t} \right]^q$$

The value of q shall be taken as:

AN transformers: 1.6;

AF transformers: 1.8.

21.3 Determination of constant temperature conditions

The ultimate temperature rise is reached when the temperature rise becomes constant; this is considered to have been achieved when the temperature rise does not vary by more than 2% of the permissible temperature rise per hour or 2 K per hour, whichever is the smaller.

For the purpose of determining when constant temperature conditions have been achieved, thermocouples or thermometers shall be applied to the following surfaces:

- Appareils habillés et non habillés: centre de la culasse supérieure et aussi près que possible des conducteurs intérieurs de l'enroulement basse tension au sommet de l'enroulement, la mesure étant faite sur la colonne centrale en cas d'appareil triphasé.
- Appareils hermétiques et à habillage total: centre de la face supérieure du couvercle et centre d'une face latérale de l'habillage.

22. Mesure du niveau de bruit (essai spécial)

Se reporter à la Publication 551 de la CEI: Mesure des niveaux de bruit des transformateurs et des bobines d'inductance.

Quand il est prévu de faire travailler le transformateur dans un habillage fourni par le client, les mesures de bruit du circuit magnétique et des bobinages peuvent être effectuées dans les ateliers du constructeur sans l'habillage.

La distance de mesure est de 0,3 m à moins que, pour des raisons de sécurité, elle ne soit portée à 1 m.

23. Essai de tenue au court-circuit (essai spécial)

Les essais de court-circuit doivent être ceux qui sont spécifiés dans la Publication 76-5 de la CEI.

Note. — Les prescriptions du paragraphe 2.2.6 de la Publication 76-5 de la CEI relatives aux dispositifs de protection par détection de gaz et aux cuves ne sont pas applicables aux transformateurs secs.

24. Tolérances

Les tolérances doivent être celles qui sont spécifiées dans le tableau III (article 7) de la Publication 76-1 de la CEI.

SECTION SIX — ENVELOPPES

25. Degrés de protection procurés par les enveloppes

La conception d'une enveloppe dépend de l'emplacement et des conditions d'environnement dans lesquelles le transformateur est installé. Les écrans et ouvertures d'aération doivent être en conformité avec la Publication 529 de la CEI: Classification des degrés de protection procurés par les enveloppes.

- Enclosed and non-enclosed units: centre of top yoke and as close as practicable to the innermost low-voltage winding conductors at the top of the winding, the measurement being on the centre leg of a three-phase unit.
- Sealed and totally enclosed units: centre of top cover surface and centre of one side of enclosure surface.

22. Measurement of sound level (special test)

Refer to IEC Publication 551: Measurement of Transformer and Reactor Sound Levels.

When a transformer is for operation within an enclosure supplied by the purchaser, sound measurements of the transformer core and coils may be carried out at the manufacturer's works without the enclosure.

The measuring distance is 0.3 m unless, for safety reasons, 1 m is chosen.

23. Short-circuit test (special test)

Short-circuit tests shall be as specified in IEC Publication 76-5.

Note. — References to gas relays and tanks in Sub-clause 2.2.6 of IEC Publication 76-5 are not applicable to dry-type transformers.

24. Tolerances

Tolerances shall be as specified in Table III (Clause 7) of IEC Publication 76-1.

SECTION SIX — ENCLOSURES

25. Degrees of protection provided by enclosures

The design of an enclosure will be dependent upon the location and environmental conditions in which the transformer is installed. The screens and openings provided for the air circulation shall comply with IEC Publication 529: Classification of Degrees of Protection Provided by Enclosures.
