

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

60076-8

Première édition
First edition
1997-10

**Transformateurs de puissance –
Guide d'application**

**Power transformers –
Application guide**

ITOH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[IEC 60076-8:1997](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c1dcb1a1-c049-440c-b5fa-af6c745a9783/iec-60076-8-1997>



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60076-8:1997

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

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

- **Bulletin de la CEI** **IEC Bulletin**
- **Annuaire de la CEI** **IEC Yearbook**
Accès en ligne* On-line access*
- **Catalogue des publications de la CEI** **Catalogue of IEC publications**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement Published yearly with regular updates
(Accès en ligne)* (On-line access)*

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

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

- **Bulletin de la CEI** **IEC Bulletin**
- **Annuaire de la CEI** **IEC Yearbook**
Accès en ligne* On-line access*
- **Catalogue des publications de la CEI** **Catalogue of IEC publications**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement Published yearly with regular updates
(Accès en ligne)* (On-line access)*

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

IEC publications prepared by the same technical committee

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

* See web site address on title page.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

60076-8

Première édition
First edition
1997-10

**Transformateurs de puissance –
Guide d'application**

**Power transformers –
Application guide**

IT'S STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[IEC 60076-8:1997](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c1dcb1a1-c049-440c-b5fa-af6c745a9783/iec-60076-8-1997>

© IEC 1997 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE XC

For price, see current catalogue

SOMMAIRE

| | Pages |
|---|-------|
| AVANT-PROPOS | 4 |
| Articles | |
| 1 Généralités | 6 |
| 2 Propriétés caractéristiques des différentes combinaisons d'enroulements triphasés et conceptions des circuits magnétiques | 8 |
| 3 Propriétés caractéristiques et application aux autotransformateurs..... | 16 |
| 4 Propriétés homopolaires – courant de charge du neutre et conditions de défaut à la terre, saturation magnétique et courant d'enclenchement | 24 |
| 5 Calcul des courants de court-circuit pour les transformateurs triphasés à trois enroulements (transformateurs à enroulements séparés et autotransformateurs) dont les point neutres sont reliés à la terre..... | 50 |
| 6 Marche en parallèle des transformateurs dans les réseaux triphasés | 80 |
| 7 Calcul de la chute de tension pour une charge spécifiée, pertes dues à la charge d'un transformateur à trois enroulements | 92 |
| 8 Spécification des grandeurs assignées et des grandeurs de prises..... | 124 |
| 9 Application en convertisseur des transformateurs normaux | 146 |
| 10 Guide pour la mesure des pertes des transformateurs de puissance | 150 |
| Annexe A – Relations fondamentales pour les défauts à la terre monophasé et biphasé... | 164 |

CONTENTS

| | Page |
|--|------|
| FOREWORD | 5 |
| Clause | |
| 1 General | 7 |
| 2 Characteristic properties of different three-phase winding combinations and magnetic circuit designs | 9 |
| 3 Characteristic properties and application of auto-connected transformers..... | 17 |
| 4 Zero-sequence properties – neutral load current and earth fault conditions, magnetic saturation and inrush current | 25 |
| 5 Calculation of short-circuit currents in three-winding, three-phase transformers (separate winding transformers and auto-connected transformers) with earthed neutrals | 51 |
| 6 Parallel operation of transformers in three-phase systems..... | 81 |
| 7 Calculation of voltage drop for a specified load, three-winding transformer load loss . | 93 |
| 8 Specification of rated quantities and tapping quantities | 125 |
| 9 Converter applications with standard transformers | 147 |
| 10 Guide to the measurement of losses in power transformers..... | 151 |
| Annex A – Basic relations for single-phase and two-phase earth faults..... | 165 |

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE – GUIDE D'APPLICATION

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60076-8 a été établie par le comité d'études 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

Cette première édition de la CEI 60076-8 annule et remplace la CEI 60606 publiée en 1978. Cette édition constitue une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS | Rapport de vote |
|-------------|-----------------|
| 14/260/FDIS | 14/297/RVD |

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

La CEI 60076 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général: Transformateurs de puissance.

- Partie 1: 1993, Généralités
- Partie 2: 1993, Echauffement
- Partie 3: 1980, Niveaux d'isolement et essais diélectriques
- Partie 5: 1976, Tenue au court-circuit
- Partie 8: 1997, Guide d'application

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**POWER TRANSFORMERS –
APPLICATION GUIDE**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60076-8 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers.

This first edition of IEC 60076-8 cancels and replaces IEC 60606 published in 1978. This edition constitutes a technical revision.

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

| FDIS | Report on voting |
|-------------|------------------|
| 14/260/FDIS | 14/297/RVD |

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

IEC 60076 consists of the following parts, under the general title: Power transformers.

- Part 1: 1993, General
- Part 2: 1993, Temperature rise
- Part 3: 1980, Insulation levels and dielectric tests
- Part 5: 1976, Ability to withstand short circuit
- Part 8: 1997, Application guide

Annex A is for information only.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE – GUIDE D'APPLICATION

1 Généralités

1.1 *Domaine d'application et objet*

Cette norme s'applique aux transformateurs de puissance conformes à la série de normes CEI 60076.

Son but est d'informer les utilisateurs sur

- certaines caractéristiques fondamentales de fonctionnement des différents modes de couplage et des conceptions des circuits magnétiques avec une référence particulière au phénomène homopolaire;
- les courants de défaut des réseaux dans les transformateurs avec couplage YNynd et similaires;
- la marche en parallèle des transformateurs, le calcul de la chute ou de l'augmentation de tension due à la charge et le calcul des pertes dues à la charge pour les combinaisons de charge à trois enroulements;
- la sélection des grandeurs assignées et des grandeurs de prises au moment de l'achat, en se basant sur les conditions prévisionnelles;
- l'application des transformateurs normaux à la charge par convertisseur;
- les techniques de mesure et de précision lors de la mesure des pertes.

Une partie de ces informations est de nature générale et est applicable à tous les transformateurs de puissance quelle que soit leur taille. D'autres chapitres traitent, cependant, des aspects du problème ne concernant que la spécification et l'utilisation des grandes unités à haute tension.

Les recommandations ne sont pas obligatoires et ne constituent pas en elles-mêmes des prescriptions de spécification.

Les informations relatives à la capacité de charge des transformateurs de puissance sont précisées dans la CEI 60354 pour les transformateurs immergés dans l'huile, et dans la CEI 60905 pour les transformateurs du type sec.

Des recommandations pour l'exécution des essais de choc sur les transformateurs de puissance sont fournies dans la CEI 60722.

1.2 *Références normatives*

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

CEI 60050(421):1990, *Vocabulaire électrotechnique international (VEI) – Chapitre 421: Transformateurs de puissance et bobines d'inductance*

CEI 60076, *Transformateurs de puissance*

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

POWER TRANSFORMERS – APPLICATION GUIDE

1 General

1.1 *Scope and object*

This Standard applies to power transformers complying with the series of publications IEC 60076.

It is intended to provide information to users about:

- certain fundamental service characteristics of different transformer connections and magnetic circuit designs, with particular reference to zero-sequence phenomena;
- system fault currents in transformers with YN_{yn}d and similar connections;
- parallel operation of transformers, calculation of voltage drop or rise under load, and calculation of load loss for three-winding load combinations;
- selection of rated quantities and tapping quantities at the time of purchase, based on prospective loading cases;
- application of transformers of conventional design to convertor loading;
- measuring technique and accuracy in loss measurement.

Part of the information is of a general nature and applicable to all sizes of power transformers. Several chapters, however, deal with aspects and problems which are of the interest only for the specification and utilization of large high-voltage units.

The recommendations are not mandatory and do not in themselves constitute specification requirements.

Information concerning loadability of power transformers is given in IEC 60354, for oil-immersed transformers, and IEC 60905, for dry-type transformers.

Guidance for impulse testing of power transformers is given in IEC 60722.

1.2 *Normative references*

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

IEC 60050(421):1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 421: Power transformers and reactors*

IEC 60076: *Power transformers*

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

CEI 60076-3:1980, *Transformateurs de puissance – Partie 3: Niveaux d'isolement et essais diélectriques*

CEI 60289:1988, *Bobines d'inductance*

CEI 60354:1991, *Guide de charge pour transformateurs de puissance immergés dans l'huile*

CEI 60722:1982, *Guide pour les essais au choc de foudre et au choc de manoeuvre des transformateurs de puissance et des bobines d'inductance*

CEI 60905:1987, *Guide de charge pour transformateurs de puissance du type sec*

CEI 60909:1988, *Calcul des courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif*

CEI 60909-1:1991, *Calcul des courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif – Partie 1: Facteurs pour le calcul des courants de court-circuit dans les réseaux alternatifs triphasés conformément à la CEI 60909 (1988)*

CEI 60909-2:1992, *Matériel électrique – Données pour le calcul des courants de court-circuit conformément à la CEI 60909 (1988)*

CEI 61378-1:1997, *Transformateurs de conversion – Partie 1: Transformateurs pour applications industrielles*

ISO 9001:1994, *Systèmes qualité – Modèle pour l'assurance de la qualité en conception, développement, production, installation et prestations associées*

iTeh STANDARD PREVIEW

2 Propriétés caractéristiques des différentes combinaisons d'enroulements triphasés et conceptions des circuits magnétiques

Ce chapitre est une vue d'ensemble du sujet. Des informations complémentaires sont fournies à l'article 4 relatif aux propriétés homopolaires.

2.1 Enroulements avec couplage Y, D et Z

Il existe deux principaux couplages triphasés des enroulements de transformateur: le couplage étoile (couplage Y) et le couplage triangle (couplage D). Pour des buts spécifiques, notamment dans les transformateurs de petite puissance, un autre type de couplage appelé «couplage en zigzag» ou «Z» est aussi utilisé. Historiquement, plusieurs autres schémas ont été utilisés (triangle tronqué, triangle étendu, connexion en T, connexion en V, etc.). Tandis que de telles connexions sont utilisées dans les transformateurs pour applications spéciales, elles n'existent plus dans les réseaux de transmission de puissance et de distribution.

2.1.1 Avantages de l'enroulement à couplage Y

Ce type d'enroulement

- est plus économique pour un enroulement haute tension;
- a un point neutre disponible;
- permet la mise à la terre directe ou la mise à la terre à travers une impédance;
- permet de réduire le niveau d'isolation du neutre (isolation graduée);
- permet de loger les prises d'enroulement et les changeurs de prises à l'extrémité neutre de chaque phase;
- permet l'application d'une charge monophasée avec courant de neutre (voir 2.2 et 4.8).

IEC 60076-3:1980, *Power transformers – Part 3: Insulation levels and dielectric tests*

IEC 60289:1988, *Reactors*

IEC 60354:1991, *Loading guide for oil-immersed power transformers*

IEC 60722:1982, *Guide to the lightning impulse and switching impulse testing of power transformers and reactors*

IEC 60905:1987, *Loading guide for dry-type power transformers*

IEC 60909:1988, *Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems*

IEC 60909-1:1991, *Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems – Part 1: Factors for the calculation of short-circuit currents in three-phase a.c. systems according to IEC 60909 (1988)*

IEC 60909-2:1992, *Electrical equipment – Data for short-circuit current calculations in accordance with IEC 60909 (1988)*

IEC 61378-1: 1997, *Convertor transformers – Part 1: Transformers for industrial applications*

ISO 9001: 1994, *Quality systems – Model for quality assurance in design, development, production, installation and servicing*

2 Characteristic properties of different three-phase winding combinations and magnetic circuit designs

This chapter is an overview of the subject. Additional information is given in clause 4 on zero-sequence properties.

[IEC 60076-8:1997](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c1dcb1a1-c049-440c-b5fa-af6c745a9783/iec-60076-8-1997)

2.1 Y-, D-, and Z-connected windings

There are two principal three-phase connections of transformer windings: star (Y-connection) and delta (D-connection). For special purposes, particularly in small power transformers, another connection named zigzag or Z is also used. Historically, several other schemes have been in use (such as "truncated delta", "extended delta", "T-connection", "V-connection", etc.). While such connections are used in transformers for special applications, they no longer appear in common power transmission systems.

2.1.1 Advantages of a Y-connected winding

This type of winding:

- is more economical for a high-voltage winding;
- has a neutral point available;
- permits direct earthing or earthing through an impedance;
- permits reduced insulation level of the neutral (graded insulation);
- permits the winding taps and tapchanger to be located at the neutral end of each phase;
- permits single-phase loading with neutral current (see 2.2 and 4.8).

2.1.2 Avantages de l'enroulement à couplage D

Ce type d'enroulement

- est plus économique pour un enroulement à courant fort et à basse tension;
- combiné avec un enroulement à couplage étoile, réduit l'impédance homopolaire dans cet enroulement.

2.1.3 Avantages de l'enroulement à couplage Z

Ce type d'enroulement

- peut recevoir une charge de courant de neutre avec une basse impédance homopolaire inhérente. (Il est utilisé dans les transformateurs de mise à la terre pour créer une borne neutre artificielle d'un réseau);
- réduit le déséquilibre de tension dans les réseaux où la charge n'est pas répartie également entre les phases.

2.2 Propriétés caractéristiques des combinaisons de couplages d'enroulements

La notation des couplages des enroulements de transformateur suit les conventions de la CEI 60076-1, article 6.

Ce paragraphe est un résumé du comportement au courant de neutre des différentes combinaisons d'enroulement. On fait référence à de telles conditions comme ayant des «composantes homopolaires» de courant et de tension. Les articles 4 et 5 traitent de ce concept.

Ces énoncés sont également valables pour les bancs triphasés de transformateurs monophasés couplés ensemble extérieurement.

2.2.1 YNyn et YNauto

Le courant homopolaire peut circuler entre les enroulements avec ampères-tours équilibrés, rencontrant une faible impédance de court-circuit dans le transformateur. Les transformateurs de réseaux dotés de telles connexions peuvent en outre être équipés d'un enroulement de stabilisation à couplage triangle (voir 4.7.2 et 4.8).

2.2.2 YNy et Yyn

Le courant homopolaire dans l'enroulement avec neutre mis à la terre n'a pas d'ampères-tours équilibrés dans l'enroulement opposé, dans lequel le neutre n'est pas mis à la terre. Il constitue donc un courant magnétisant pour le circuit magnétique et est contrôlé par une impédance magnétisante homopolaire. L'impédance est forte ou très forte, selon la conception du circuit magnétique (voir 2.3). La symétrie des tensions entre phase et neutre sera affectée et il peut exister des limitations du courant homopolaire permis provoquées par l'échauffement du flux de fuite parasite (voir 4.8).

2.2.3 YNd, Dyn, YNyd (tertiaire avec capacité de charge) ou YNy + d (enroulement de stabilisation en triangle sans capacité de charge)

Le courant homopolaire de l'enroulement en étoile avec neutre mis à la terre provoque un courant de circulation de compensation dans l'enroulement triangle. L'impédance est faible, approximativement égale à l'impédance directe de court-circuit entre les enroulements.

S'il existe deux enroulements en étoile avec neutres mis à la terre (y compris le cas de l'autotransformateur avec neutre commun), on trouve un cas d'application d'une charge à trois enroulements pour un courant homopolaire. Cette situation est traitée en 4.3.2 et en 4.7.2 et dans l'article 5.

2.1.2 Advantages of a D-connected winding

This type of winding:

- is more economical for a high-current, low-voltage winding;
- in combination with a star-connected winding, reduces the zero-sequence impedance in that winding.

2.1.3 Advantages of a Z-connected winding

This type of winding:

- permits neutral current loading with inherently low zero-sequence impedance. (It is used for earthing transformers to create an artificial neutral terminal of a system);
- reduces voltage unbalance in systems where the load is not equally distributed between the phases.

2.2 Characteristic properties of combinations of winding connections

The notation of winding connections for the whole transformer follows the conventions in IEC 60076-1, clause 6.

This subclause is a summary of the neutral current behaviour in different winding combinations. Such conditions are referred to as having "zero-sequence components" of current and voltage. This concept is dealt with further in clauses 4 and 5.

The statements are also valid for three-phase banks of single-phase transformers connected together externally.

[IEC 60076-8:1997](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c1dcb1a1-c049-440c-b5fa-af6c745a9783/iec-60076-8-1997)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c1dcb1a1-c049-440c-b5fa-af6c745a9783/iec-60076-8-1997>

2.2.1 YNyn and YNauto

Zero-sequence current may be transformed between the windings under ampere-turn balance, meeting low short-circuit impedance in the transformer. System transformers with such connections may in addition be provided with delta equalizer winding (see 4.7.2 and 4.8).

2.2.2 YNy and Yyn

Zero-sequence current in the winding with earthed neutral does not have balancing ampere-turns in the opposite winding, where the neutral is not connected to earth. It therefore constitutes a magnetizing current for the iron core and is controlled by a zero-sequence magnetizing impedance. This impedance is high or very high, depending on the design of the magnetic circuit (see 2.3). The symmetry of the phase-to-neutral voltages will be affected and there may be limitations for the allowable zero-sequence current caused by stray-flux heating (see 4.8).

2.2.3 YNd, Dyn, YNy_d (loadable tertiary) or YNy + d (non-loadable delta equalizer winding)

Zero-sequence current in the star winding with earthed neutral causes compensating circulating current to flow in the delta winding. The impedance is low, approximately equal to the positive-sequence short-circuit impedance between the windings.

If there are two star windings with earthed neutrals (including the case of auto-connection with common neutral), there is a three-winding loading case for zero-sequence current. This is dealt with in 4.3.2 and 4.7.2, and in clause 5.

2.2.4 *Yzn ou ZNy*

Le courant homopolaire dans l'enroulement en zigzag produit un équilibre d'ampères-tours inhérent entre les deux moitiés de l'enroulement sur chaque noyau et fournit une faible impédance de court-circuit.

2.2.5 *Bancs triphasés de grandes unités monophasées – utilisation d'un enroulement tertiaire à couplage triangle*

Dans certains pays, les transformateurs pour l'interconnexion des réseaux haute tension sont en général construits en bancs d'unités monophasées. Le coût, la masse et les pertes d'un tel banc sont supérieurs à ceux d'un transformateur triphasé correspondant (dans la mesure où il peut être réalisé). L'avantage du concept du banc est le coût relativement faible d'une quatrième unité de secours pouvant servir de réserve stratégique. Il se peut aussi que l'unité triphasée correspondante dépasse la limite de la masse d'expédition.

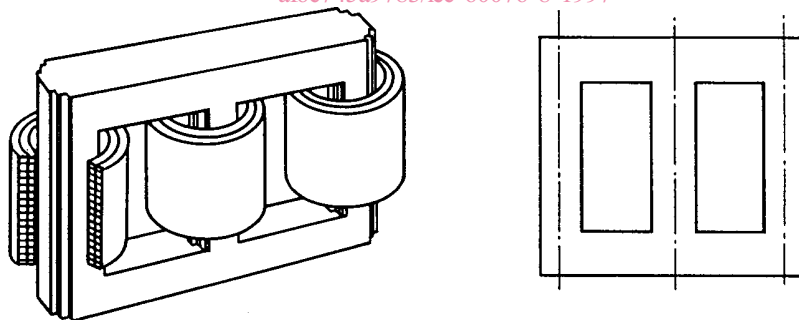
Les trois transformateurs monophasés apportent des circuits magnétiques indépendants, représentant une impédance très magnétisante pour une composante homopolaire de tension.

Il peut être nécessaire de prévoir un enroulement de stabilisation en triangle dans le banc ou encore d'avoir une puissance auxiliaire à relativement basse tension provenant d'un enroulement tertiaire. Cela peut être réalisé par une connexion extérieure barre omnibus entre unités de la station. La connexion externe représente un risque supplémentaire de défaut à la terre ou de court-circuit sur l'enroulement tertiaire combiné du banc.

2.3 *Différentes conceptions de circuits magnétiques*

La conception du circuit magnétique la plus fréquente pour un transformateur triphasé est le circuit magnétique à trois colonnes (voir figure 1). Trois colonnes verticales parallèles sont reliées sur les parties inférieure et supérieure par des culasses horizontales.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c1dcb1a1-c049-440c-b5fa-af6c745a9783/iec-60076-8-1997>



IEC 1119/97

Figure 1 – Circuit magnétique à trois colonnes

Le circuit magnétique à cinq colonnes (voir figure 2) comporte trois colonnes bobinées et deux colonnes latérales non bobinées de section droite moins importante. Les culasses raccordant les cinq colonnes comportent aussi une section droite réduite si on la compare aux colonnes bobinées.

2.2.4 Yzn or ZNy

Zero-sequence current in the zigzag winding produces an inherent ampere-turn balance between the two halves of the winding on each limb, and provides a low short-circuit impedance.

2.2.5 Three-phase banks of large single-phase units – use of delta connected tertiary windings

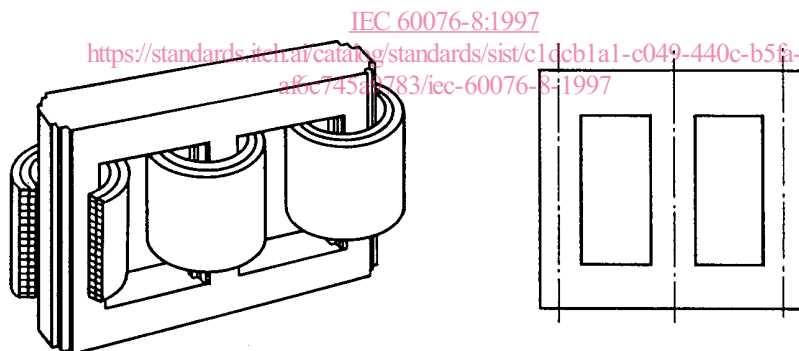
In some countries, transformers for high-voltage system interconnection are traditionally made as banks of single-phase units. The cost, mass, and loss of such a bank is larger than for a corresponding three-phase transformer (as long as it can be made). The advantage of the bank concept is the relatively low cost of providing a spare fourth unit as a strategic reserve. It may also be that a corresponding three-phase unit would exceed the transport mass limitation.

The three single-phase transformers provide independent magnetic circuits, representing high magnetizing impedance for a zero-sequence voltage component.

It may be necessary to provide a delta equalizer winding function in the bank, or there may be a need for auxiliary power at relatively low-voltage from a tertiary winding. This can be achieved by external busbar connection from unit to unit in the station. The external connection represents an additional risk of earth fault or short circuit on the combined tertiary winding of the bank.

2.3 Different magnetic circuit designs

The most common magnetic circuit design for a three-phase transformer is the three-limb core-form (see figure 1). Three parallel, vertical limbs are connected at the top and bottom by horizontal yokes.



IEC 1119/97

Figure 1 – Three-limb, core-form magnetic circuit

The five-limb, core-form magnetic circuit (see figure 2) has three limbs with windings and two unwound side limbs of lesser cross-section. The yokes connecting all five limbs also have a reduced cross-section in comparison with the wound limbs.