

norme européenne

NF EN 60076-1+A11

Juin 2000

norme française

Indice de classement : C 52-176-1

ICS 29.180

Transformateurs de puissance

Partie 1 : Généralités

E : Power transformers - Part 1 : General

D : Transformatoren - Teil 1 : Allgemeine Anforderungen

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'afnor le 20 mai 2000, pour prendre effet à compter du 20 juin 2000.

Remplace la partie 1 de la norme homologuée NF C 52-100 de août 1990

Correspondance La présente norme européenne EN 60076-1 :1997+A11:1997 a le statut d'une norme française. Elle reproduit la publication CEI 76-1 :1993 avec modifications ainsi que son amendement A1:1999.

Analyse Ce texte établit les règles générales applicables aux transformateurs triphasés et monophasés, à l'exception de certaines catégories de petits transformateurs et transformateurs spéciaux.

Descripteurs Transformateurs de puissance, généralités, conditions de service, définitions, plaque signalétique, tolérance, essai, appel d'offre, commande commerciale

Modifications Par rapport à la précédente édition, adoption de la norme européenne EN 60076-1

Corrections



AVANT-PROPOS NATIONAL

Ce document constitue la version française complète de la norme européenne EN 60076-1:1997 en reprenant le texte de la publication CEI 76-1 (deuxième édition 1993 +A1:1999).

Les modifications du CENELEC sont signalées par un trait vertical dans la marge gauche du texte.

Après consultation de son Conseil d'Administration et enquête probatoire, l'Union technique de l'Électricité et de la communication a voté favorablement au CENELEC sur le projet de EN 60076-1, en décembre 1996.

**Correspondance entre les documents internationaux cités en référence
et les documents CENELEC et/ou français à appliquer**

Document international cité en référence	Document correspondant			
	CENELEC (EN ou HD)		français (NF ou UTE)	
CEI 50(421) 1990	-		-	
CEI 68-3-3 1991	EN 60068-3-3	1993	NF EN 60068-3 Indice C 20-420	1994
CEI 76-2 (mod.) 1993	EN 600076-2	1997	NF EN 60076-2 Indice C 52-176-2	1997
CEI 76-3 (mod.) 1980 + A1 (mod.) 1981	HD 398-3 S1	1983 1988	NF C 52-100 (partie 3)	1990
CEI 76-3-1 1987	-		-	
CEI 76-5 (mod.) 1976 + A1 1979	HD 398-5 S1 + A1	1983 1988	NF C 52-100 (partie 5)	1990
CEI 137 1995	EN 60137	1996	NF EN 60137 Indice C 66-550	1996
CEI 354 1991	-		-	
CEI 529 1989	EN 60529 + corr	1991 1993	NF EN 60529 Indice C 20-010	1992
CEI 551 (mod.) 1987	EN 60551	1992	NF EN 60551 Indice C 52-161	1993
CEI 606 1978	-		-	
CEI 726 (mod.) 1982	HD 464 S1 +A2 +A3 +A4	1988 1991 1992 1995	NF C 52-726 + A1	1993 1997
CEI 815 1986	-		-	
CEI 905 1987	-		-	
ISO 3 1973	-		NF X 01-001	1967
ISO 9001 1987	EN ISO 9001	1987	NF EN ISO 9001 Indice X 50-131	1994

Note : Les documents de la classe C sont en vente à l'Union technique de l'Électricité et de la Communication - BP 23 - 92262 Fontenay-aux-Roses cedex - Tél. : 01 40 93 62 00 ainsi qu'au service diffusion de l'Association française de normalisation - Tour Europe - cedex 7 - 92059 Paris la défense - Tél. : 01 42 91 55 55.

Les documents CEI sont en vente à l'UTE.

**NORME EUROPEENNE
EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD**

EN 60076-1+A11

Décembre 1997

ICS 29.180

Remplace HD 398.1 S1:1980 et HD 398.4 S1:1980

Descripteurs: Transformateur de puissance, généralités, conditions de service, définitions, plaque signalétique, tolérance, essai, appel d'offre, commande commerciale

Version française

**Transformateurs de puissance
Partie 1: Généralités
(CEI 76-1:1993, modifiée+A1:1999)**

Leistungstransformatoren
Teil 1: Allgemeines
(IEC 76-1:1993, modifiziert+A1:1999)

Power transformers
Part 1: General
(IEC 76-1:1993, modified+A1:1999)

La présente norme européenne a été adoptée par le CENELEC le 1997-03-11. L'amendement 11a été adopté par le CENELEC le 1997-10-01. Les membres du CENELEC sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la norme européenne.

Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Secrétariat Central ou auprès des membres du CENELEC.

La présente norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CENELEC dans sa langue nationale, et notifiée au Secrétariat Central, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CENELEC sont les comités électrotechniques nationaux des pays suivants: Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède et Suisse.

CENELEC

Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization

Secrétariat Central: rue de Stassart 35, B - 1050 Bruxelles

Avant-propos

Le texte de la Norme internationale CEI 76-1:1993, préparé par le CE 14 de la CEI, Transformateurs de puissance, ainsi que les modifications communes préparées par le comité technique du CENELEC TC 14 a été soumis au vote formel et a été accepté par le CENELEC comme EN 60076-1 le 1997-03-11.

La présente norme européenne remplace le HD 398.1 S1:1980 et le HD 398.4 S1:1980.

Les différences techniques ont trait principalement à certaines mesures (par exemple: flexibilité dans des circonstances données) pour aligner la norme sur les exigences actuelles des spécifications des utilisateurs.

Les dates suivantes ont été fixées:

- date limite à laquelle la EN doit être mise en application
au niveau national par publication d'une norme
nationale identique ou par entérinement (dop) 1997-09-01
- date limite à laquelle les normes nationales
conflictuelles doivent être annulées(dow) 1997-09-01

Les annexes appelées "normatives" font partie du corps de la norme. Les annexes appelées "informatives" ne sont données que pour information. Dans la présente norme, les annexes A, E et ZA sont normatives et les annexes B, C, D et F sont informatives.

L'annexe ZA a été ajoutée par le CENELEC.

Avant-propos de l'amendement

Le présent amendement a été préparé par le comité technique CENELEC TC 14, Transformateurs.

Le texte du projet a été soumis à la procédure d'acceptation unique et a été approuvé par le CENELEC comme amendement A11 à la EN 60076-1:1997 le 1997-10-01.

Les dates suivantes ont été fixées:

- date limite à laquelle l'amendement doit être mis en
application au niveau national par publication d'une
norme nationale identique ou par entérinement (dop) 1998-06-01
 - date limite à laquelle les normes nationales
conflictuelles doivent être annulées (dow) -
-

SOMMAIRE

	Pages
TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE	5
Partie 1: Généralités.....	5
1 Domaine d'application et conditions de service	5
1.1 Domaine d'application	5
1.2 Conditions de service	5
2 Références normatives	6
3 Définitions.....	7
3.1 Généralités	7
3.2 Bornes et point neutre	8
3.3 Enroulements.....	8
3.4 Régime assigné	9
3.5 Prises	10
3.6 Pertes et courant à vide	12
3.7 Impédance de court-circuit et chute de tension	13
3.8 Echauffement	14
3.9 Isolement.....	14
3.10 Connexions (ou couplage).....	14
3.11 Types d'essais	15
3.12 Données météorologiques concernant le refroidissement	15
4 Régime assigné	15
4.1 Puissance assignée	15
4.2 Cycle de charge	16
4.3 Valeurs préférentielles de la puissance assignée.....	16
4.4 Fonctionnement à une tension supérieure à la tension assignée et/ou à fréquence perturbée.....	16
5 Prescriptions pour les transformateurs possédant un enroulement à prises.....	16
5.1 Généralités — Notation d'étendue de prises	16
5.2 Tension de prise — courant de prise. Catégories standards de réglage de tension de prise. Prise à tension maximale.....	17
5.3 Puissance de prise. Prises à pleine puissance — prises à puissance réduite	20
5.4 Spécification des prises dans l'appel d'offres et la commande	21
5.5 Spécification de l'impédance de court-circuit	21
5.6 Pertes dues à la charge et échauffement.....	22
6 Symboles des couplages et des déphasages pour les transformateurs triphasés	22
7 Plaques signalétiques	25
7.1 Informations à donner dans tous les cas	25
7.2 Informations supplémentaires à donner le cas échéant.....	26
8 Prescriptions diverses	26
8.1 Dimensionnement de la connexion de neutre.....	26
8.2 Système de préservation d'huile.....	27
8.3 Déclenchement de la charge sur les transformateurs de groupe	27
9 Tolérances.....	27
10 Essais.....	29

10.1	Conditions générales pour les essais individuels, les essais de type et les essais spéciaux	29
10.2	Mesure de la résistance des enroulements	30
10.3	Mesure du rapport de transformation et contrôle du déphasage	31
10.4	Mesure de l'impédance de court-circuit et des pertes dues à la charge	31
10.5	Mesures des pertes et du courant à vide	32
10.6	Mesure des harmoniques du courant à vide	32
10.7	Mesures d'impédance(s) homopolaires (s) sur des transformateurs triphasés	33
10.8	Essais sur les changeurs de prises en charge	33
11	Compatibilité électromagnétique (CEM)	34
Annexe A : Renseignements à fournir à l'appel d'offres et à la commande		35
Annexe B : Exemples de spécifications de transformateurs avec prises de réglage		38
Annexe C : Spécification d'impédance de court-circuit par les limites		40
Annexe D : Couplage des transformateurs triphasés		41
Annexe E : Influence de la température sur les pertes dues à la charge		44
Annexe F : Bibliographie		46
Annexe ZA :		47

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

Partie 1: Généralités

1 Domaine d'application et conditions de service

1.1 Domaine d'application

La présente partie de la Norme internationale CEI 76 s'applique aux transformateurs triphasés et monophasés (y compris les autotransformateurs), à l'exception de certaines catégories de petits transformateurs et de transformateurs spéciaux, tels que:

- transformateurs de puissance assignée inférieure à 1 kVA en monophasé, et 5 kVA en triphasé;
- transformateurs de mesure;
- transformateurs pour convertisseurs statiques;
- transformateurs de traction montés sur matériel roulant;
- transformateurs de démarrage;
- transformateurs d'essais;
- transformateurs de soudure.

Lorsqu'il n'existe pas de normes de la CEI pour des catégories de transformateurs telles que celles-ci, la présente partie de la CEI 76 peut néanmoins être appliquée en tout ou partie. Pour ces catégories de transformateurs de puissance et de bobines d'inductance qui disposent d'une norme CEI appropriée, cette partie est applicable uniquement dans la mesure où il y est fait explicitement référence dans l'autre norme*.

A plusieurs endroits dans cette partie, il est prescrit ou recommandé qu'un accord doit être obtenu concernant des solutions techniques ou des procédures additionnelles. Un tel accord sera établi entre le constructeur et l'utilisateur. Il y a lieu que ces questions soient soulevées assez tôt et que les accords soient inclus dans la spécification du contrat.

1.2 Conditions de service

1.2.1 Conditions normales de service

Cette partie de la CEI 76 contient les prescriptions détaillées pour les transformateurs destinés à être utilisés dans les conditions suivantes:

a) Altitude

Altitude ne dépassant pas 1 000 m.

b) Température ambiante et fluide de refroidissement

La température de l'air ambiant est comprise entre -25°C et $+40^{\circ}\text{C}$. Dans le cas des transformateurs refroidis à l'eau, la température de l'eau à l'entrée ne dépasse pas $+25^{\circ}\text{C}$.

Des limites supplémentaires pour le refroidissement sont données:

- pour les transformateurs immergés dans l'huile dans la CEI 76-2;
- pour les transformateurs de type sec dans la CEI 726.

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

La tension d'alimentation a une forme d'onde pratiquement sinusoïdale.

NOTE Cette prescription n'est normalement pas critique dans les réseaux publics d'alimentation mais elle peut avoir à être reconsidérée dans les installations comportant une charge considérable en convertisseur. Dans de tels cas il y a une règle conventionnelle telle que la déformation ne doit pas excéder 5 % pour le contenu total des harmoniques ni 1 % pour celles d'ordre pair. Prendre aussi en considération l'importance des harmoniques de courant pour les pertes dues à la charge et l'échauffement.

d) Symétrie des tensions d'alimentation triphasées

Pour les transformateurs triphasés, les tensions d'alimentation triphasées sont pratiquement symétriques.

e) Environnement

Un environnement à faible degré de pollution (voir la CEI 137 et la CEI 815), qui ne demande pas de mesures particulières concernant l'isolement des traversées ou du transformateur lui-même.

Un environnement qui ne nécessite pas de prendre en compte un risque sismique dans la conception. (On considère que c'est le cas quand l'accélération verticale a_g est inférieure à 2 m/s^2)*.

1.2.2 Dispositions pour conditions de services exceptionnelles

Toutes les conditions anormales de service qui peuvent nécessiter des considérations spéciales dans la conception d'un transformateur doivent être précisées dans l'appel d'offre et la commande. Ce peut être des facteurs tels qu'une altitude élevée, une température trop élevée ou trop basse, une humidité de type tropical, une activité sismique, une pollution sévère, des conditions anormales de tension et de formes d'onde de courant de charge et des charges intermittentes. Il peut s'agir aussi des conditions de transport, de stockage et d'installation, telles que des limites de masse ou de dimensions (voir l'annexe A).

Des règles complémentaires pour le régime assigné et les conditions d'essais sont données dans d'autres publications:

- Pour l'échauffement et le refroidissement sous une température ambiante élevée ou à haute altitude, dans la CEI 76-2 pour les transformateurs immergés dans l'huile, et dans la CEI 726 pour les transformateurs de type sec.
- Pour l'isolement externe à haute altitude, dans les CEI 73-3 et 76-3-1 pour les transformateurs immergés dans l'huile et dans la CEI 726 pour les transformateurs de type sec.

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 partie de la CEI 76. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 76 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 50(421):	1990	<i>Vocabulaire Electrotechnique International — Chapitre 421: Transformateurs de puissance et bobines d'inductance</i>
CEI 68-3-3:	1991	<i>Essais d'environnement — Troisième partie: Guide. Méthodes d'essais sismiques applicables aux matériels</i>
CEI 76-2:	1993	<i>Transformateurs de puissance — Partie 2: Echauffement</i>

* Voir la CEI 68-3-3

CEI 76-3:	1980	<i>Transformateurs de puissance — Troisième partie: Niveaux d'isolement et essais diélectriques</i>
CEI 76-3-1:	1987	<i>Transformateurs de puissance — Troisième partie: Niveaux d'isolement et essais diélectriques. Distances d'isolement dans l'air</i>
CEI 76-5:		<i>Transformateurs de puissance — Cinquième partie: Tenue au court-circuit</i>
CEI 137:	1995	<i>Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1 000 V</i>
CEI 354:	1991	<i>Guide de charge pour transformateurs de puissance immergés dans l'huile</i>
CEI 529:	1989	<i>Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)</i>
CEI 551:	1987	<i>Détermination des niveaux de bruit des transformateurs et des bobines d'inductance</i>
CEI 606:		<i>Guide d'application pour les transformateurs de puissance</i>
CEI 726:	1982	<i>Transformateurs de puissance de type sec</i>
CEI 815:	1986	<i>Guide pour le choix des isolateurs sous pollution</i>
CEI 905:	1987	<i>Guide de charge pour transformateurs de puissance du type sec</i>
ISO 3	1973	<i>Nombres normaux — Séries de nombres normaux</i>
ISO 9001	1987	<i>Systèmes qualité — Modèle pour l'assurance de la qualité en conception/développement, production, installation et soutien après vente</i>

3 Définitions

Dans le cadre de la présente partie de la CEI 76 les définitions suivantes sont applicables. Les autres termes utilisés ont la signification qui leur est attribuée par le Vocabulaire Electrotechnique International (VEI).

3.1 Généralités

3.1.1 transformateur de puissance: Appareil statique à deux enroulements ou plus qui, par induction électromagnétique, transforme un système de tension et courant alternatif en un autre système de tension et de courant de valeurs généralement différentes à la même fréquence dans le but de transmettre de la puissance électrique. [VEI 421-01-01, modifié]

3.1.2 autotransformateur*: Transformateur dont au moins deux enroulements ont une partie commune. [VEI 421-01-11]

* Quand il y a lieu de dire qu'un transformateur n'est pas autoconnecté, on a l'habitude de parler de transformateur «à enroulement séparé» ou de transformateur «à double enroulement» (voir VEI 421.01.13).

3.1.3 transformateur survolteur-dévolteur: Transformateur dont l'un des enroulements est destiné à être inséré en série dans un circuit, dans le but d'en modifier la tension et ou le déphasage. L'autre enroulement est un enroulement d'excitation. [VEI 421-01-12, modifié]

3.1.4 transformateur immergé dans l'huile: Transformateur dont le circuit magnétique et les enroulements sont immergés dans l'huile. [VEI 421-01-14]

NOTE Dans le cadre de la présente norme, tout liquide isolant, huile minérale ou autre produit est assimilé à l'huile.

3.1.5 transformateur du type sec: Transformateur dont le circuit magnétique et les enroulements ne sont pas immergés dans un diélectrique liquide. [VEI 421-01-16]

3.1.6 système de préservation d'huile: Dans un transformateur immergé dans l'huile, le système qui absorbe la dilatation thermique de l'huile. On peut parfois empêcher ou diminuer le contact entre l'huile et l'air ambiant.

3.2 Bornes et point neutre

3.2.1 borne: Pièce conductrice destinée à relier un enroulement à des conducteurs extérieurs.

3.2.2 borne de ligne: Borne destinée à être reliée à un conducteur de ligne d'un réseau. [VEI 421-02-01]

3.2.3 borne neutre:

- a) Pour les transformateurs triphasés et les groupes triphasés constitués de transformateurs monophasés:

Borne(s) reliée(s) au point commun (le point neutre) d'un enroulement couplé en étoile ou en zigzag.

- b) Pour les transformateurs monophasés

Borne destinée à être reliée à un point neutre d'un réseau. [VEI 421-02-02, modifié]

3.2.4 point neutre: Point d'un système symétrique de tensions qui est normalement au potentiel zéro.

3.2.5 bornes homologues: Bornes des différents enroulements d'un transformateur, marquées avec les mêmes lettres ou avec des symboles correspondants. [VEI 421-02-03]

3.3 Enroulements

3.3.1 enroulement: Ensemble des spires formant un circuit électrique associé à l'une des tensions pour lesquelles le transformateur a été établi.

NOTE . Pour un transformateur triphasé, «l'enroulement» est l'ensemble des enroulements de phase (voir 3.3.3). [VEI 421-03-01, modifié]

3.3.2 enroulement à prises: Enroulement tel que le nombre de spires peut être modifié par échelons.

3.3.3 enroulement de phase: Ensemble des spires formant une phase d'un enroulement triphasé.

NOTE . Le terme «enroulement de phase» ne doit pas être utilisé pour désigner l'ensemble des bobines d'une colonne déterminée. [VEI 421-03-02, modifié]

3.3.4 enroulement haute tension*: Enroulement dont la tension assignée est la plus élevée. [VEI 421-03-03]

3.3.5 enroulement basse tension*: Enroulement dont la tension assignée est la plus basse. [VEI 421-03-04]

NOTE . Pour un transformateur survolteur-dévolteur, l'enroulement dont la tension assignée est la plus basse peut être celui dont le niveau d'isolement est le plus élevé.

3.3.6 enroulement à tension intermédiaire*: Dans les transformateurs à plus de deux enroulements, enroulement dont la tension assignée est intermédiaire entre la plus haute et la plus basse des tensions assignées. [VEI 421-03-05]

3.3.7 enroulement auxiliaire: Enroulement prévu pour une charge faible comparée à la puissance assignée du transformateur. [VEI 421-03-08]

3.3.8 enroulement de stabilisation: Enroulement supplémentaire en triangle, utilisé sur un transformateur à couplage étoile-étoile ou étoile-zigzag, dans le but de réduire son impédance homopolaire, voir 3.7.3. [VEI 421-03-09, modifié]

NOTE . Un enroulement n'est considéré comme un enroulement de stabilisation que s'il n'est pas destiné à être relié à un circuit externe pour des couplages triphasés.

3.3.9 enroulement commun: Partie commune des enroulements d'un autotransformateur [VEI 421-03-10]

3.3.10 enroulement série: Partie de l'enroulement d'un autotransformateur ou enroulement d'un transformateur survolteur-dévolteur qui est destinée à être connectée en série avec un circuit. [VEI 421-03-11]

3.3.11 enroulement d'excitation: Enroulement d'un transformateur survolteur-dévolteur qui est destiné à fournir la puissance à l'enroulement série. [VEI 421-03-12]

3.4 Régime assigné

3.4.1 régime assigné: Ensemble des valeurs numériques attribuées aux grandeurs qui définissent le fonctionnement du transformateur, dans les conditions spécifiées dans cette partie de la CEI 76 et qui servent de base aux garanties du constructeur et aux essais.

3.4.2 grandeurs assignées: Grandeurs (tension, courant, etc.) dont les valeurs numériques définissent le régime assigné.

NOTES

1 Pour les transformateurs avec prises, sauf spécification contraire, les grandeurs assignées sont relatives à la prise principale (voir 3.5.2). Les grandeurs correspondantes avec des significations analogues pour les autres prises sont appelées grandeurs de prise (voir 3.5.10).

2 Sauf spécification contraire, les tensions et courants sont toujours exprimés par leurs valeurs efficaces.

* L'enroulement qui reçoit en service, la puissance active du réseau d'alimentation est désigné comme un «enroulement primaire» et celui qui délivre la puissance active à une charge comme un «enroulement secondaire». Ces termes n'ont pas de signification pour celui des enroulements qui a la plus grande tension assignée et ne devraient pas être utilisés, exception faite dans le contexte du sens du transit de la puissance active (voir VEI 421.03-06 et 07). Un enroulement supplémentaire dans le transformateur, habituellement avec une valeur de puissance assignée plus faible que celle de l'enroulement secondaire, est souvent désigné comme un «enroulement tertiaire», voir aussi la définition 3.3.8.

3.4.3 tension assignée d'un enroulement (U_r): Tension spécifiée pour être appliquée ou développée, en fonctionnement à vide entre les bornes d'un enroulement sans prise ou d'un enroulement avec prises connecté sur la prise principale (voir 3.5.2). Pour un enroulement triphasé, c'est la tension entre les bornes de ligne. [VEI 421-04-01, modifié]

NOTES

1 Les tensions assignées de tous les enroulements, apparaissent simultanément en fonctionnement à vide, quand la tension appliquée à l'un d'entre eux est à sa valeur assignée.

2 Dans le cas des transformateurs monophasés destinés à être connectés en étoile pour constituer un groupe triphasé, la tension assignée est indiquée par la tension entre phases divisée par $\sqrt{3}$ par exemple $U_r = 400 / \sqrt{3}$ kV.

3 Pour l'enroulement série d'un transformateur survolteur-dévolteur triphasé, qui est constitué d'enroulements de phase indépendants (voir 3.10.5), la tension assignée est indiquée comme si l'enroulement était connecté en étoile, par exemple $U_r = 23 / \sqrt{3}$ kV.

3.4.4 rapport de transformation assigné: Rapport entre la tension assignée d'un enroulement et celle d'un autre enroulement caractérisé par une tension assignée inférieure ou égale. [VEI 421-04-02]

3.4.5 fréquence assignée (f_r): Fréquence à laquelle le transformateur est destiné à fonctionner. [VEI 421-04-03, modifié]

3.4.6 puissance assignée (S_r): Valeur conventionnelle de la puissance apparente d'un enroulement qui détermine le courant assigné dès lors qu'on connaît la tension assignée.

NOTES

1 Les deux enroulements d'un transformateur à deux enroulements ont la même puissance assignée; cette puissance est, par définition, la puissance assignée du transformateur lui-même.

2 Dans le cas des transformateurs à plus de deux enroulements, en divisant par deux la somme arithmétique des puissances assignées de tous les enroulements (enroulements séparés, non autoconnectés), on obtient une estimation grossière du dimensionnement du transformateur équivalent à deux enroulements.

3.4.7 courant assigné (I_r): Courant arrivant à une borne de ligne d'un enroulement, déterminé à partir de la puissance assignée S_r et de tension assignée U_r de cet enroulement. [VEI 421-04-05, modifié]

NOTES

1 Pour un enroulement triphasé, le courant assigné I_r est donné par:

$$I_r = \frac{S_r}{\sqrt{3} \times U_r} \quad \text{A}$$

2 Pour les enroulements des transformateurs monophasés destinés à être couplés en triangle pour constituer un groupe triphasé, le courant assigné est obtenu en divisant le courant de ligne par $\sqrt{3}$ par exemple:

$$I_r = \frac{500}{\sqrt{3}} \quad \text{A}$$

3.5 Prises

3.5.1 prise: Dans un transformateur ayant un enroulement à prises, un branchement particulier de cet enroulement représentant un nombre effectif défini de spires dans l'enroulement à prises et, par conséquent, un rapport défini des spires entre cet enroulement et tout autre enroulement ayant un nombre de spires fixé.

NOTE. L'une des prises est la prise principale, et les autres prises sont définies par rapport à la prise principale, en fonction de leur facteur de prise. Voir les définitions de ces termes ci-dessous.

3.5.2 prise principale: Prise à laquelle se réfèrent les grandeurs assignées. [VEI 421-05-02]

3.5.3 facteur de prise (correspondant à une prise donnée): Le rapport:

$$\frac{U_d}{U_r} \text{ (facteur de prise) ou } 100 \frac{U_d}{U_r} \text{ (facteur de prise exprimé en pourcentage)}$$

où

U_r est la tension assignée de l'enroulement (voir 3.4.3);

U_d est la tension qui serait développée aux bornes de l'enroulement, connecté sur la prise considérée, dans un fonctionnement à vide en appliquant à un enroulement sans prise, sa tension assignée.

NOTE - Cette définition n'est pas applicable à l'enroulement série d'un transformateur survolteur dévolteur (voir 3.1.3), dans ce cas, le rapport exprimé en pourcentage correspondrait à la tension de l'enroulement d'excitation ou de l'enroulement du transformateur associé. [VEI 421 -05-03, modifié]

3.5.4 prise additive: Prise dont le facteur de prise est supérieur à 1. [VEI 421-05-04]

3.5.5 prise soustractive: Prise dont le facteur de prise est inférieur à 1. [VEI 421-05-05]

3.5.6 échelon de réglage: Différence entre les facteurs de prises exprimés sous la forme d'un pourcentage de deux prises adjacentes. [VEI 421-05-06]

3.5.7 étendue de prises: Etendue de variation du facteur de prise exprimé sous la forme d'un pourcentage, par rapport à la valeur «100».

NOTE - Si ce facteur, varie de $100 + a$ à $100 - b$, l'étendue de prises s'exprime par $+a \%$, $-b \%$ ou $\pm a \%$ si $a = b$. [VEI 421-05-07]

3.5.8 rapport de transformation de prise (d'une paire d'enroulements): Rapport qui est égal au rapport de transformation assigné:

- multiplié par le facteur de prise de l'enroulement à prises si celui-ci est l'enroulement haute tension;
- divisé par le facteur de prise de l'enroulement à prises, si celui-ci est l'enroulement basse tension. [VEI 421-05-08]

NOTE - Alors que le rapport de transformation assigné est, par définition, au moins égal à 1, le rapport de transformation de prise peut être inférieur à 1 pour certaines prises quand le rapport de transformation assigné est voisin de 1.

3.5.9 régime de prise: L'ensemble des valeurs numériques attribuées aux grandeurs, analogues aux grandeurs assignées, qui correspondent aux prises autres que la prise principale (voir l'article 5 et la CEI 606). [VEI 421-05-09, modifié]

3.5.10 grandeurs de prise: Grandeurs dont les valeurs numériques définissent le régime de prise d'une prise particulière (autre que la prise principale).

NOTE - Les grandeurs de prises existent pour tout enroulement du transformateur, pas seulement pour l'enroulement avec prises (voir 5.2 et 5.3).

Les grandeurs de prises sont:

- la tension de prise (voir tension assignée, 3.4.3);
- la puissance de prise (voir puissance assignée, 3.4.6);
- le courant de prise (voir courant assigné, 3.4.7). [VEI 421-05-10, modifié]

3.5.11 prise à pleine puissance: Prise dont la puissance de prise est égale à la puissance assignée. [VEI 421-05-14]

3.5.12 prise à puissance réduite: Prise dont la puissance de prise est inférieure à la puissance assignée. [VEI 421-05-15]

3.5.13 changeur de prises en charge: Dispositif destiné à changer les connexions aux prises d'un enroulement et pouvant être manœuvré lorsque le transformateur est sous tension ou en charge. [VEI 421-11-01]

3.6 Pertes et courant à vide

NOTE - Les valeurs se rapportent à la prise principale, sauf si une autre prise est spécifiée.

3.6.1 pertes à vides: Puissance active absorbée quand la tension assignée (tension de prise) à la fréquence assignée est appliquée aux bornes de l'un des enroulements, l'autre (ou les autres) enroulement(s) étant à circuit ouvert. [VEI 421-06-01, modifié]

3.6.2 courant à vide: Valeur efficace du courant arrivant à une borne de ligne d'un enroulement, quand la tension assignée (tension de prise) à la fréquence assignée est appliquée à cet enroulement, l'autre (ou les autres) enroulement(s) étant à circuit ouvert.

NOTES

1 Pour un transformateur triphasé, cette valeur représente la moyenne arithmétique des valeurs des courants dans les trois phases.

2 Le courant à vide d'un enroulement est souvent exprimé en pourcentage du courant assigné de cet enroulement. Pour les transformateurs à plus de deux enroulements, ce pourcentage est rapporté à l'enroulement ayant la puissance assignée la plus élevée. [VEI 421-06-02, modifié]

3.6.3 pertes dues à la charge: La puissance active relative à une paire d'enroulements, absorbée à la fréquence assignée et à la température de référence (voir 10.1), quand le courant assigné (courant de prise) traverse les bornes de ligne de l'un des enroulements, les bornes de l'autre enroulement étant court-circuitées. Les autres enroulements, s'il y en a, étant à circuit ouvert.

NOTES

1 Pour un transformateur à deux enroulements, il n'y a qu'une combinaison d'enroulements et qu'une valeur de pertes dues à la charge. Pour un transformateur à plus de deux enroulements, il y a plusieurs valeurs de pertes dues à la charge, correspondant aux différentes combinaisons de deux enroulements (voir l'article 6 de la CEI 606). La valeur des pertes dues à la charge pour tout le transformateur, correspond à une combinaison donnée des charges des différents enroulements. En général, cette valeur ne peut pas être déterminée par des mesures d'essai directes.

2 Quand les enroulements de la paire ont des puissances assignées différentes, les pertes dues à la charge correspondent au courant assigné de celui des enroulements de la paire dont la puissance assignée est la plus faible et il convient de mentionner la puissance de référence.

3.6.4 pertes totales: Somme des pertes à vide et des pertes dues à la charge.

NOTE - Les pertes dans les appareils auxiliaires, ne sont pas comprises dans les pertes totales et doivent être indiquées séparément. [VEI 421-06-05, modifié].

3.6.5 Facteur de distorsion total harmonique :

$$D = \sqrt{\sum_{h=2}^H u_h^2}$$

où

u_h = U_h / U_1

U_h est la valeur efficace de l'harmonique de rang h

U_1 est la valeur efficace de la fondamentale

En pratique pour les besoins de la présente norme H peut être pris égal à 7.

3.7 Impédance de court-circuit et chute de tension

3.7.1 impédance de court-circuit d'une paire d'enroulements: Impédance série équivalente $Z=R + jX$, exprimée en ohms, à la fréquence assignée et à la température de référence, mesurée aux bornes de l'un des deux enroulements, lorsque les bornes de l'autre enroulement sont court-circuitées et que les enroulements supplémentaires, s'ils existent, sont en circuit ouvert. Pour un transformateur triphasé, l'impédance est exprimée comme une impédance de phase (c'est-à-dire, en couplage étoile équivalent).

Pour un transformateur ayant un enroulement à prises, l'impédance de court-circuit est donnée sur une prise particulière. Sauf spécification contraire, cette prise est la prise principale.

NOTE . Cette quantité peut être exprimée sous une forme sans dimension, en valeur relative, comme une fraction z de l'impédance de référence $Z_{réf}$ du même enroulement de la paire. En pourcentage, la notation est:

$$z = 100 \frac{Z}{Z_{réf}}$$

où

$$Z_{réf} = \frac{U^2}{S_r}$$

(Formule valable pour les transformateurs triphasés et monophasés).

U est la tension (tension assignée ou tension de prise) de l'enroulement pris pour Z et $Z_{réf}$.

S_r est la valeur de référence de la puissance assignée.

La valeur relative est aussi égale au quotient de la tension à appliquer pendant l'essai de court-circuit pour y faire circuler le courant assigné (ou courant de prise), par la tension assignée (ou tension de prise). Cette tension correspond à la tension de court-circuit [VEI 421-07-01] de la paire d'enroulement. Elle est normalement exprimée en pourcentage. [VEI 421-07-02, modifié]

3.7.2. chute ou augmentation de tension pour une condition de charge spécifiée:

Différence arithmétique entre la tension à vide d'un enroulement et la tension en charge aux bornes du même enroulement pour un courant de charge et un facteur de puissance spécifiés, la tension appliquée à l'autre (ou à l'un des autres) enroulement(s) étant égale:

- à sa valeur assignée, si le transformateur est connecté sur la prise principale (la tension à vide du premier enroulement est alors égale à sa valeur assignée);
- à la tension de prise si le transformateur est connecté sur une autre prise.

Cette différence s'exprime généralement sous la forme d'un pourcentage de la tension à vide du premier enroulement.

NOTE . Pour les transformateurs à plus de deux enroulements, la chute ou l'augmentation de tension dépend non seulement de la charge et du facteur de puissance de l'enroulement lui-même, mais aussi de la charge et du facteur de puissance des autres enroulements (voir la CEI 606). [VEI 421.07.03]

3.7.3 impédance homopolaire (d'un enroulement triphasé): Impédance exprimée en ohms par phase à la fréquence assignée, entre les bornes de ligne d'un enroulement triphasé en étoile ou en zigzag reliées ensemble et sa borne neutre. [VEI 421-07-04, modifié]

NOTES

1 L'impédance homopolaire peut avoir plusieurs valeurs, car elle dépend de la façon dont les bornes du ou des autres enroulements sont connectées et chargées.

2 L'impédance homopolaire peut dépendre de la valeur du courant et de la température, en particulier pour les transformateurs sans enroulement triangle.

3 L'impédance homopolaire peut aussi être exprimée en valeur relative de la même façon que l'impédance de court-circuit (système direct) voir 3.7.1.

3.8 Echauffement

Différence entre la température de la partie considérée et la température du fluide de refroidissement externe. [VEI 421-08-01, modifié]

3.9 Isolement

Pour les définitions se rapportant à l'isolement, voir la CEI 76-3.

3.10 Connexions (ou couplage)

3.10.1 connexion étoile (connexion Y): Connexion des enroulements dans laquelle une extrémité de chaque enroulement de phase d'un transformateur triphasé ou de chaque enroulement de même tension assignée pour les transformateurs monophasés constituant un groupe triphasé, est connecté à un point commun (point neutre), l'autre extrémité étant reliée à la borne de ligne correspondante. [VEI 421-10-01, modifié]

3.10.2 connexion triangle (connexion D): Connexion en série des enroulements de phase d'un transformateur triphasé, ou des enroulements de même tension assignée de transformateurs monophasés constituant un groupe triphasé, effectuée de manière à réaliser un circuit fermé. [VEI 421-10-02, modifié]

3.10.3 connexion en triangle ouvert: Connexion en série des enroulements dans laquelle les enroulements de phase d'un transformateur triphasé, ou les enroulements de même tension assignée de transformateurs monophasés constituant un groupe triphasé, sont connectés en triangle sans fermeture du triangle à l'un de ses sommets. [VEI 421-10-03]

3.10.4 connexion en zigzag (connexion Z): Connexion des enroulements telle qu'une extrémité de chaque enroulement de phase d'un transformateur triphasé est reliée à un point commun (point neutre), et où chaque enroulement de phase comporte deux parties dans lesquelles sont induites des tensions déphasées.

NOTE - Ces deux parties ont normalement le même nombre de spires. [VEI 421-10-04, modifié]

3.10.5 enroulements de phase indépendants: Enroulements de phase d'un transformateur triphasé, qui ne sont pas reliés ensemble à l'intérieur du transformateur. [VEI 421-10-05, modifié]

3.10.6 déphasage d'un enroulement triphasé: Ecart angulaire entre les phaseurs représentant les tensions entre le point neutre (réel ou fictif) et les bornes homologues de deux enroulements, lorsqu'un système de tensions direct est appliqué aux bornes de l'enroulement à haute tension dans l'ordre de séquence alphabétique de ces bornes, si elles sont repérées par des lettres, ou dans leur ordre de séquence numérique, si elles sont repérées par des chiffres. Les phaseurs sont supposés tourner dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. [VEI 421-10-08, modifié]

NOTE - Le phaseur de l'enroulement haute tension sert de référence et le déphasage de tous les autres enroulements est exprimé habituellement par un «indice horaire», qui est l'heure indiquée par le phaseur de l'enroulement, en considérant que le phaseur de l'enroulement H.T. est sur 12 heures (plus l'indice est grand, plus le retard est grand)

3.10.7 symbole de couplage: Symbole conventionnel indiquant les modes de connexions des enroulements à haute tension, à tensions intermédiaires, s'il y a lieu, et à basse tension, et leurs déphasages relatifs, exprimés par une combinaison de lettres et du ou des indices horaires. [VEI 421-10-09, modifié]

3.11 Types d'essais

3.11.1 essai individuel: Essai effectué sur chaque transformateur pris individuellement.

3.11.2 essai de type: Essai effectué sur un transformateur représentatif d'autres transformateurs, en vue de montrer que ces transformateurs satisfont aux conditions spécifiées qui ne sont pas contrôlées par des essais individuels.

NOTE - un transformateur est considéré comme représentatif d'autres appareils, s'il est complètement identique en ce qui concerne les grandeurs assignées et la construction, mais l'essai de type peut être également considéré comme valable s'il est effectué sur un transformateur qui présente de légères différences portant sur les grandeurs assignées ou d'autres caractéristiques. Il y a lieu que ces différences fassent l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

3.11.3 essai spécial: Essai autre qu'un essai de type ou qu'un essai individuel, défini par accord entre le constructeur et l'acheteur.

3.12 Données météorologiques concernant le refroidissement

3.12.1 température mensuelle moyenne: Demi-somme de la température journalière maximale moyenne du mois et la température journalière minimale moyenne du mois, sur plusieurs années.

3.12.2 température annuelle moyenne: Un douzième de la somme des températures mensuelles moyennes.

4 Régime assigné

4.1 Puissance assignée

Il faut attribuer une puissance assignée à chaque enroulement du transformateur et marquer ces puissances sur la plaque signalétique. La puissance assignée correspond à une charge continue. C'est une valeur de référence pour les garanties et les essais des pertes dues à la charge et des échauffements.

Si des valeurs différentes de puissance apparente sont assignées dans certaines circonstances, par exemple avec différents modes de refroidissement, la puissance assignée est égale à la valeur maximale sauf accord contraire entre constructeur et acheteur avant la commande.

Un transformateur à deux enroulements n'a qu'une seule valeur de puissance assignée, identique pour les deux enroulements.

Quand la tension assignée est appliquée à l'enroulement primaire et que le courant assigné traverse les bornes d'un enroulement secondaire, le transformateur reçoit la puissance assignée correspondant à cette paire d'enroulements.

Le transformateur doit pouvoir transmettre, en service continu, la puissance assignée (pour un transformateur à plus de deux enroulements: la ou les combinaisons particulières de puissance assignée d'enroulement) dans les conditions répertoriées en 1.2 et sans dépasser les limites d'échauffement spécifiées dans la CEI 76-2.

NOTE - L'interprétation de la puissance assignée donnée dans ce paragraphe implique qu'il s'agit d'une puissance apparente injectée au transformateur, incluant sa propre consommation de puissance active et réactive. La puissance apparente, que le transformateur fournit au circuit connecté à son secondaire, à charge assignée, diffère de la puissance assignée. La différence entre la tension assignée et la tension au secondaire, correspond à la chute (ou l'augmentation) de tension dans le transformateur. L'écart dû à la chute de tension, en prenant en compte le facteur de puissance de charge, est donné dans la spécification de la tension assignée et de l'étendue de prises (voir la CEI 606).

Cette méthode est différente de celle qui est utilisée dans les normes fondées sur la pratique aux Etats-unis (ANSI/IEEE C57.12.OO) où "kVA assignés" signifie "puissance pouvant être fournie ... avec la tension assignée au secondaire ..". D'après cette méthode, l'écart dû à la chute de tension doit être pris en compte à la conception, pour que la tension primaire nécessaire puisse être appliquée au transformateur. De plus, ANSI/IEEE spécifie que dans «les conditions de service normales», «le facteur de puissance de charge est au moins de 80 %» (valeurs extraites de l'édition de 1987).

4.2 Cycle de charge

Si cela est spécifié dans l'appel d'offres ou le contrat, on peut, en plus de sa puissance assignée en charge continue, assigner au transformateur un cycle de charge temporaire, qu'il pourra effectuer dans certaines conditions spécifiées dans la CEI 76-2.

NOTE - Cette option est à utiliser en particulier pour donner des critères de conception et des garanties pour les gros transformateurs de puissance, en cas de surcharge temporaire de secours.

En l'absence de telles spécifications, un guide de charge de transformateurs respectant la présente partie peut être trouvé dans la CEI 354 et la CEI 905 ; cependant le besoin de conformité à la CEI 354, la CEI 905 ou à d'autres conditions de charge doit être déclaré par l'acheteur au moment de l'offre.

Il faut choisir les traversées, changeurs de prises et autres équipements auxiliaires, de façon à ne pas restreindre la capacité de charge du transformateur.

NOTE - Ces prescriptions ne s'appliquent pas aux transformateurs spéciaux dont certains ne nécessitent pas de capacité de surcharge. Pour les autres, des prescriptions particulières seront spécifiées.

4.3 Valeurs préférentielles de la puissance assignée

Pour les transformateurs jusqu'à 10 MVA, il convient que les valeurs de la puissance assignée soient de préférence choisies dans la série R10 de l'ISO 3.

(... 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1 000, etc.).

4.4 Fonctionnement à une tension supérieure à la tension assignée et/ou à fréquence perturbée

Des méthodes de spécification de tension assignée et d'étendue de prises adaptées à un ensemble de cas de charge (puissance de charge, facteur de charge, tension entre phases), sont décrites dans la CEI 606.

Au voisinage de la valeur prescrite pour U_m^* , un transformateur doit être capable d'un service en régime permanent sans dommage pour les conditions de saturation où le rapport entre la tension et la fréquence n'excède pas le rapport correspondant entre la tension et la fréquence assignées de plus de 5 % sauf accord contraire entre constructeur et acheteur avant la commande du fait de conditions exceptionnelles de fonctionnement.

5 Prescriptions pour les transformateurs possédant un enroulement à prises

5.1 Généralités – Notation d'étendue de prises

Les prescriptions des paragraphes suivants s'appliquent aux transformateurs pour lesquels seul l'un des enroulements est un enroulement à prises.

Pour un transformateur à plus de deux enroulements, les prescriptions s'appliquent à la combinaison de l'enroulement à prises, avec l'un quelconque des enroulements sans prise.

* U_m est la tension la plus élevée pour le matériel relative à un enroulement de transformateur (voir la CEI 76-3).

Pour les autotransformateurs, les prises sont parfois installées au neutre, c'est-à-dire que le nombre de spires est modifié simultanément dans les deux enroulements. Pour de tels transformateurs, les particularités concernant les prises doivent faire l'objet d'un accord. Il convient d'utiliser autant que possible les prescriptions de ce paragraphe.

Sauf spécification contraire, la prise principale est située au milieu de l'étendue de prises. Les autres prises sont identifiées par le facteur de prise. Le nombre de prises et la variation du rapport de transformation, peuvent être résumés par l'écart des pourcentages du facteur de prise avec 100 (pour la définition des termes, voir 3.5).

Exemple: Un transformateur avec prises sur l'enroulement 160 kV ayant une répartition symétrique sur 21 prises, est désigné par:

$$(160 \pm 10 \times 1,5 \%) / 66 \text{ kV}$$

Si pour une raison ou une autre, l'étendue de prise n'est pas symétriquement répartie autour de la tension assignée, on peut avoir:

$$\left(160 \begin{array}{l} +12 \times 1,5 \% \\ -8 \times 1,5 \% \end{array} \right) / 66 \text{ kV}$$

NOTE . Cette notation raccourcie n'est qu'une description de la répartition des prises de l'enroulement à prises et ne donne pas les variations effectives de la tension appliquée à cet enroulement en service. Cela est traité en 5.2 et 5.3.

En ce qui concerne la présentation complète de la plaque signalétique relative à chaque prise, voir l'article 7.

Certaines prises peuvent être «des prises à puissance réduite», du fait de limites de tension ou de courant de prises. Les prises limites pour lesquelles de telles restrictions apparaissent, sont appelées «prise à tension maximale» et «prise à courant maximal», (voir figure 1).

5.2 Tension de prise – courant de prise. Catégories standards de réglage de tension de prise. Prise à tension maximale

La notation abrégée de l'étendue de prise et des échelons de prises indique l'étendue de variation du rapport de transformation du transformateur. Toutefois, les valeurs assignées aux grandeurs de prises ne sont pas entièrement définies par cette notation. Des informations complémentaires sont nécessaires. Elles peuvent provenir soit de tableaux donnant la puissance, la tension et le courant de prise pour chaque prise, soit d'un texte donnant «la catégorie de réglage de tension» et les limites éventuelles de la plage des «prises à pleine puissance».

Les catégories extrêmes de réglage de tension de prise sont:

- réglage à flux constant (RFC) et
- réglage à flux variable (RFV).

Elles sont définies comme suit:

RFC

La tension de prise est constante pour tout enroulement sans prise. Les tensions de prises sont proportionnelles au facteur de prise pour l'enroulement à prises.

Page 18
EN 60076-1:1997+A11:1997

RFV

La tension de prise est constante pour l'enroulement à prises. Les tensions de prises sont inversement proportionnelles au facteur de prises pour l'enroulement sans prise.

RCb (Réglage combiné)

Dans beaucoup d'applications et en particulier pour les transformateurs dont l'étendue de prises est importante, si une combinaison des deux principes est appliquée à différentes parties de la plage de réglage, on parle de: Réglage combiné (RCb). Le point de discontinuité est appelé «prise à tension maximale». Pour ce système:

RFC s'applique pour les prises dont le facteur de prise est inférieur à celui de la prise à tension maximale.

RFV s'applique pour les prises dont le facteur de prise est supérieur à celui de la prise à tension maximale.

Présentation graphique des catégories de réglages de prises:

RFC figure 1a) – RFV figure 1b) – RCb figure 1c).

Symboles:

U_A, I_A Tension et courant de prise de l'enroulement à prises.

U_B, I_B Tension et courant de prise de l'enroulement sans prise.

S_{AB} Puissance de prise.

Abscisse Facteur de prise, en pourcentage (indiquant le nombre relatif de spires effectives de l'enroulement à prises).

1 Indique les prises à pleine puissance de l'étendue de prises.

2 Indique «la prise à tension maximale», «la prise à courant maximal» et certaines prises à puissance

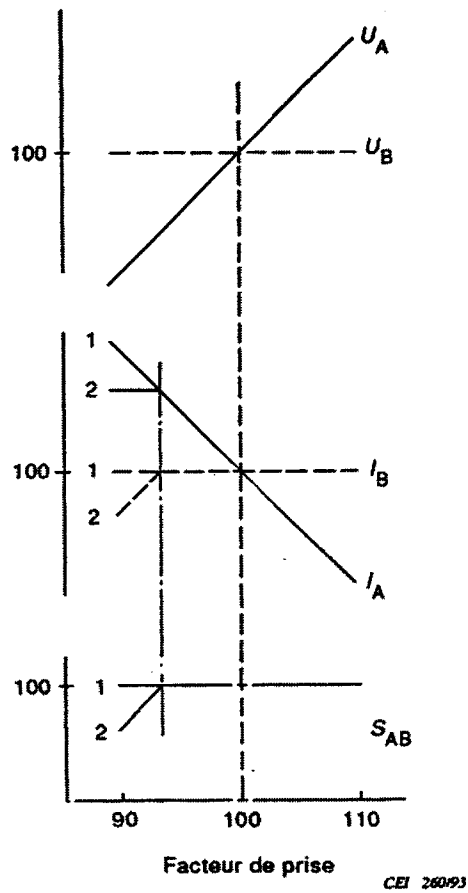


Figure 1a) – Réglage à flux constant RFC
Indication de la prise à courant maximal en option

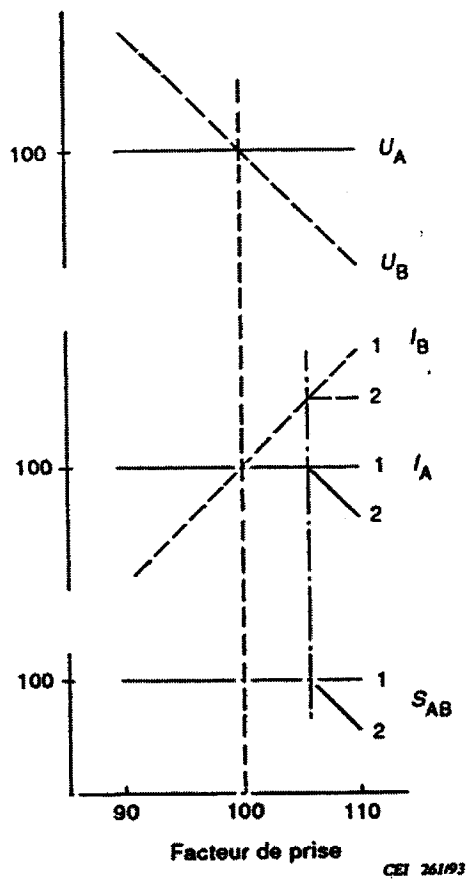


Figure 1b) – Réglage à flux variable RFV
Indication de la prise à courant maximal en option

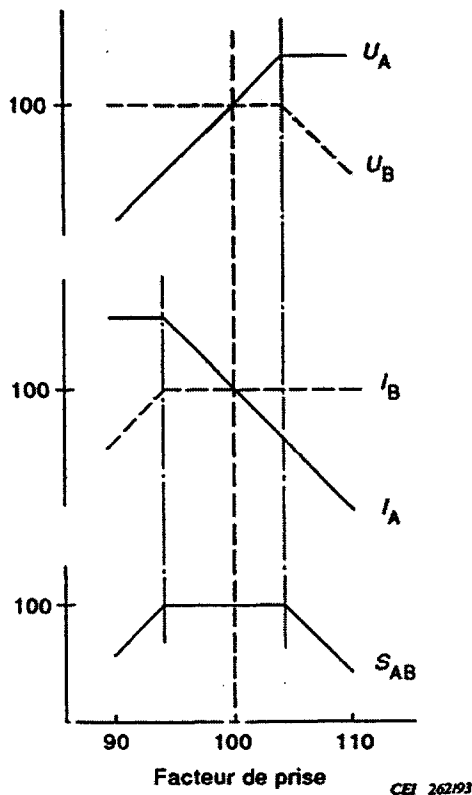


Figure 1 c) – Réglage combiné RCb

Le point de changement est représenté dans la plage additive du réglage. Il correspond aussi bien à une prise à tension maximale (U_A) qu'à une prise à courant maximal (I_B) constant, n'augmente plus après le point de changement). De plus, une prise à courant maximal en option est également représentée (dans la partie de réglage RFC).

5.3 Puissance de prise. Prises à pleine puissance – prises à puissance réduite

Toutes les prises doivent être des prises à pleine puissance, sauf celles qui sont décrites ci-dessous.

Dans les transformateurs à enroulements séparés avec une étendue de prises inférieure à $\pm 5\%$ et jusqu'à 2 500 kVA, le courant de prise de l'enroulement à prises doit être égal au courant assigné pour toutes les prises soustractives. C'est-à-dire que la prise principale est une «prise à courant maximal» (voir plus loin).

Dans les transformateurs dont l'étendue de prise dépasse $\pm 5\%$, on peut spécifier des restrictions sur les valeurs de la tension ou du courant de prise qui, sans cela, dépasseraient de beaucoup les valeurs assignées. Quand de telles restrictions sont spécifiées, les prises concernées sont appelées «prises à puissance réduite». Ce paragraphe décrit de telles dispositions.

Quand le facteur de prise s'éloigne de l'unité, le courant de prise des prises à pleine puissance peut dépasser le courant assigné sur l'un des enroulements. Comme le montre la figure 1a), cela s'applique aux prises soustractives de l'enroulement à prises avec un réglage RFC, et pour les prises additives sur l'enroulement sans prise avec un réglage RFV (figure 1b)). Pour éviter de surdimensionner l'enroulement en question, il est possible de spécifier une prise à courant maximal. A partir de cette prise, les valeurs de courants de prise de l'enroulement doivent être constantes, c'est-à-dire que les prises restantes jusqu'à la prise extrême, sont des prises à puissance réduite (voir figures 1 a), 1b) et 1 c)).

Sauf spécification contraire, avec un réglage RCb, la «prise à tension maximale», point de changement entre RFC et RFV, doit être également une prise «à courant maximal», c'est-à-

dire que le courant de l'enroulement sans prise reste constant jusqu'à la prise additive extrême (figure 1c)).

5.4 Spécification des prises dans l'appel d'offres et la commande

Les données suivantes sont nécessaires pour définir la conception du transformateur.

- a) Quel est l'enroulement à prises.
- b) Le nombre d'échelons et la valeur de l'échelon (ou l'étendue de prises et le nombre d'échelons). Sauf spécification contraire, on prendra une répartition symétrique autour de la prise principale et des valeurs d'échelon de réglage égales. Si pour une raison ou une autre la conception prévoit des échelons de valeurs inégales, on doit l'indiquer au départ.
- c) Le type de réglage et, pour des réglages combinés, le point de changement (prise à tension maximale, voir 5.2).
- d) Si on doit imposer une limite de courant maximal (prises à puissance réduite) et sur quelles prises.

Les points c) et d) peuvent être avantageusement remplacés par un tableau du même type que celui qui figure sur la plaque signalétique pour les valeurs assignées (voir exemple en annexe B).

Les spécifications de ces données peuvent être réalisées de deux façons différentes:

- soit par une spécification complète des données faites dès le départ, dans son appel d'offres, par l'utilisateur;
- soit, en variante, l'utilisateur peut soumettre un ensemble de cas de charge avec des valeurs de puissances actives et réactives (en indiquant clairement la direction du transit de puissance) et les tensions en charge correspondantes.

Dans ce cas, on doit indiquer les valeurs extrêmes du rapport à pleine puissance et à puissance réduite (voir «la méthode des six paramètres» dans la CEI 606). A partir de ces informations, le constructeur choisira l'enroulement à prises et donnera les grandeurs assignées et les grandeurs de prises dans sa proposition.

5.5 Spécification de l'impédance de court-circuit

Sauf spécification contraire, l'impédance de court-circuit d'une paire d'enroulements se rapporte à la prise principale (3.7.1). Pour les transformateurs ayant un enroulement à prises dont l'étendue de prise dépasse $\pm 5\%$, les valeurs d'impédance doivent être données également pour les deux prises extrêmes. Pour de tels transformateurs, les trois valeurs d'impédance doivent être mesurées au cours de l'essai de court-circuit (voir 10.4).

Quand les valeurs d'impédance sont données pour plusieurs prises, et en particulier quand les enroulements de la paire ont des puissances assignées différentes, il est recommandé de définir entièrement les valeurs d'impédance, en ohm par phase, se rapportant à l'un ou l'autre des enroulements plutôt que de les donner en pourcentage. Des valeurs en pourcentage pourraient entraîner des erreurs, du fait des habitudes différentes prises pour choisir les valeurs de référence. Quand les valeurs sont données en pourcentage, on donnera explicitement les valeurs de référence pour la puissance et la tension.

NOTE . Le choix de la valeur de l'impédance par l'utilisateur donne lieu à des exigences contradictoires : limiter la chute de tension, ou limiter la surintensité de courant en cas de défaut. Une optimisation économique de la conception, en prenant en compte les pertes, détermine une certaine plage d'impédances. Un fonctionnement en parallèle avec un transformateur existant demande une harmonisation des impédances (voir la CEI 606).

Si un appel d'offre donne non seulement l'impédance sur la prise principale mais aussi ses variations suivant la plage de réglage, cela représente des contraintes relativement importantes sur la conception (position des enroulements les uns par rapport aux autres). Une telle spécification détaillée ne devrait donc pas être établie sans raison valable.

Une façon de spécifier les valeurs de l'impédance de court-circuit dans l'appel d'offres, qui laisse un certain degré de liberté dans la conception, est d'indiquer une borne supérieure et une borne inférieure acceptables, suffisamment espacées sur toute l'étendue de prises. Cela peut être fait à l'aide d'un graphe ou d'un tableau.

L'écart entre les valeurs extrêmes doit permettre au moins que les tolérances en plus et en moins de l'article 9 puissent s'appliquer sur une valeur médiane entre elles. Un exemple est donné dans l'annexe C. Le constructeur doit choisir les valeurs d'impédance de la prise principale et des prises extrêmes et les garantir, tout en restant à l'intérieur des bornes. Les valeurs mesurées peuvent différer des valeurs garanties, en respectant les tolérances données dans l'article 9, mais elles ne doivent pas dépasser les limites fixées, ces limites étant données sans tolérance.

5.6 Pertes dues à la charge et échauffement

- a) Si l'étendue de prises est dans les limites de $\pm 5\%$ et si la puissance assignée n'est pas supérieure à 2 500 kVA, les garanties données sur les pertes dues à la charge et sur l'échauffement se rapportent uniquement à la prise principale, et l'essai d'échauffement est fait sur cette prise.
- b) Si l'étendue de prises dépasse $\pm 5\%$ ou si la puissance assignée dépasse 2 500 kVA, on doit dire pour quelles prises, en plus de la prise principale, il faut que le constructeur garantisse les pertes dues à la charge. Ces pertes correspondent aux courants de prises. Les limites d'échauffement sont valables pour toutes les prises à la puissance, à la tension et au courant de prise appropriés.

Un essai d'échauffement doit être fait sur une seule prise, si c'est spécifié. Sauf spécification contraire, c'est la «prise à courant maximal» (qui en général est la prise correspondant à la perte maximale due à la charge). Les pertes totales pour cette prise correspondent à la puissance d'essai qui permettra de déterminer l'échauffement de l'huile au cours de l'essai d'échauffement, et le courant de prise pour cette prise représente le courant de référence pris pour la détermination de l'échauffement des enroulements au-dessus de l'huile. Les informations concernant les règles et les essais régissant l'échauffement des transformateurs immergés dans l'huile se trouvent dans la CEI 76-2.

En principe, l'essai de type d'échauffement doit démontrer que le dispositif de refroidissement permet de dissiper les pertes totales maximales sur n'importe quelle prise, et que l'échauffement au-dessus de l'ambiante de tout enroulement sur n'importe quelle prise ne dépassera pas la valeur maximale spécifiée.

Le deuxième point indique que l'on doit choisir pour l'essai la «prise à courants maximal». Mais les pertes totales à injecter pour déterminer l'échauffement maximal de l'huile doivent correspondre à la valeur maximale pour toute prise, même si une autre prise est choisie pour l'essai (voir aussi 5.2 dans la CEI 76-2).

6 Symboles des couplages et des déphasages pour les transformateurs triphasés

Le mode de connexion en étoile, en triangle ou en zigzag des enroulements de phase d'un transformateur triphasé, ou des enroulements de même tension de transformateurs monophasés formant un groupe triphasé, doit être indiqué par les lettres majuscules Y, D ou Z pour l'enroulement à haute tension (HT), et par les minuscules y, d ou z pour l'enroulement à tension intermédiaire ou à basse tension (BT). Si le point neutre de l'enroulement en étoile ou en zigzag est sorti, l'indication doit respectivement être YN ou ZN et yn ou zn respectivement.

Les enroulements indépendants d'un transformateur triphasé (qui ne sont pas connectés ensemble dans le transformateur, mais dont les deux extrémités de chaque enroulement de

phase sont sorties sur des bornes) sont indiqués par III (HT) ou iii (basse tension ou tension intermédiaire).

Pour une paire d'enroulements autoconnectés, le symbole de l'enroulement de tension inférieure est remplacé par «auto» ou «a», par exemple, «YNauto» ou «YNa» ou «Yna0», «ZNa11».

Les symboles littéraux relatifs aux différents enroulements d'un transformateur sont notés par ordre décroissant avec la tension assignée. La lettre correspondant au couplage d'enroulement pour tout enroulement intermédiaire et à basse tension est immédiatement suivie du déphasage «nombre horaire» (voir définition 3.10.6). Trois exemples sont montrés ci-dessous et illustrés en figure 2.

L'existence d'un enroulement de stabilisation (enroulement connecté en triangle et qui n'est pas sorti pour une charge triphasée extérieure) est indiquée, après les symboles des enroulements susceptibles d'être chargés par le symbole «+d».

Si un transformateur est spécifié avec un couplage d'enroulement modifiable (série-parallèle ou Y-D), les deux couplages seront notés conjointement avec les tensions assignées correspondantes comme indiqué par les exemples suivants:

220(110) /10,5 kV	YN(YN)d11
110/11(6,35) kV	YNy0(d11)

Une information complète doit être donnée sur la plaque signalétique (voir 7.2 e)).

Des exemples de couplage d'usage général, avec les diagrammes de connexions, sont montrés en annexe D.

Des diagrammes avec les marquages des bornes et avec indication des transformateurs de courant incorporés lorsqu'ils sont utilisés, peuvent être présentés sur la plaque signalétique simultanément avec les indications spécifiées à l'article 7.

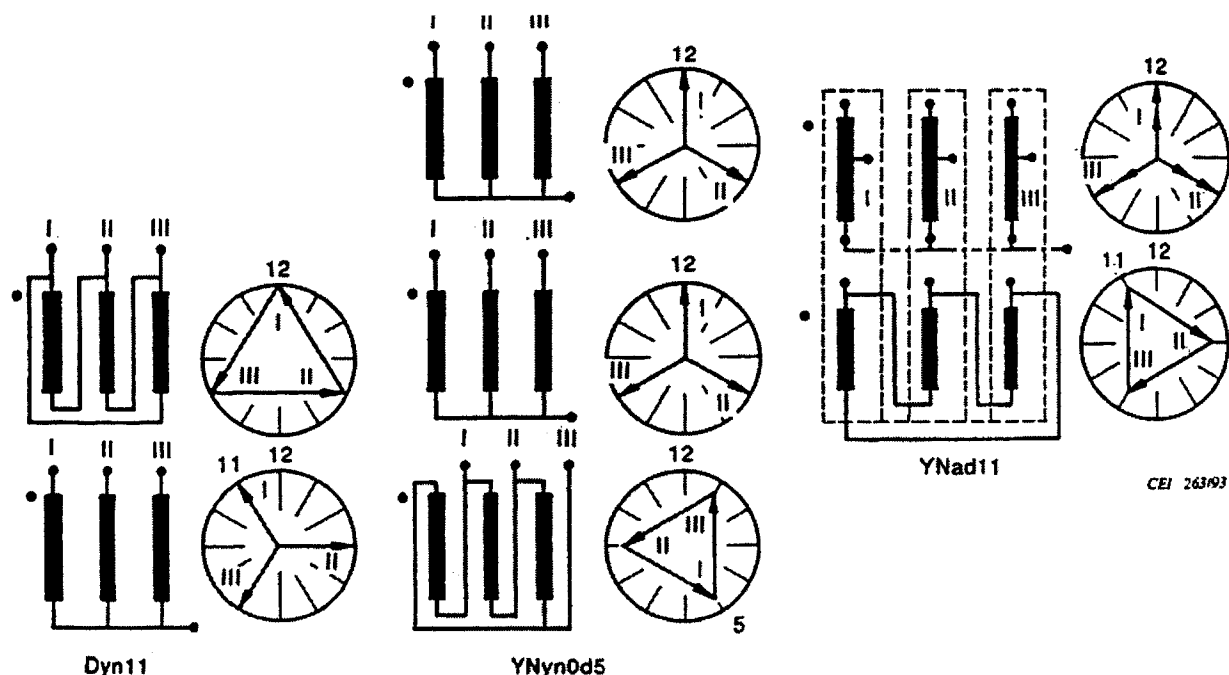


Figure 2 – Illustration des «indices horaires» – trois exemples

Les conventions suivantes relatives aux indices sont applicables.

Les diagrammes des couplage présentent l'enroulement haute tension au-dessus, et l'enroulement basse tension en dessous (les directions des tensions induites sont indiquées).

Le diagramme du phaseur de l'enroulement haute tension est orienté avec la phase I à 12 heures. Le phaseur de la phase I de l'enroulement basse tension est orienté selon la relation de tension induite résultant du couplage présenté.

Le sens de rotation des diagrammes des phaseurs est le sens anti-horaire, ce qui donne la séquence I – II – III.

NOTE : Cette numérotation est arbitraire. Le marquage des bornes suit la pratique nationale.

Exemple 1

Transformateur de distribution avec un enroulement haute tension à 20 kV connecté en triangle. L'enroulement basse tension est un enroulement à 400 V connecté en étoile avec point neutre sorti. L'enroulement BT est en retard de 330° sur l'enroulement HT.

Symbole : Dyn 11

Exemple 2

Transformateur à trois enroulements: un enroulement à 123 kV en étoile, avec point neutre sorti. Un enroulement à 36 kV en étoile, avec point neutre sorti, en phase avec l'enroulement HT, mais pas autoconnecté. Un enroulement à 7,2 kV en triangle, en retard de 150° par rapport aux précédents.

Symbole:YNyn0d5

Exemple 3

Un groupe de trois autotransformateurs monophasés,

$$\frac{400}{\sqrt{3}} / \frac{130}{\sqrt{3}} \text{ kV avec des enroulements tertiaires de 22 kV.}$$

Les enroulements autoconnectés sont connectés en étoile, et les enroulements tertiaires en triangle. Le phaseur de l'enroulement en triangle du groupe est en retard de 330° par rapport au phaseur de l'enroulement haute tension.

Symbole : YNautod11 ou YNad11

Le symbole sera le même pour un transformateur triphasé ayant intérieurement la même connexion à l'intérieur.

Si l'enroulement en triangle n'est pas connecté à trois bornes de phases, mais seulement utilisé comme enroulement de stabilisation, le symbole l'indique par le signe «plus». Il n'y aura aucune indication de déphasage pour un enroulement de stabilisation.

Symbole : YNauto+d.

7 Plaques signalétiques

Le 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 marquées de manière indélébile.

7.1 Informations à donner dans tous les cas

- a) Type du transformateur (par exemple transformateur, autotransformateur, survolteur-dévolteur, etc.).
- b) Numéro de cette norme.
- c) Nom du constructeur.
- d) Numéro de série du constructeur.
- e) Année de fabrication.
- f) Nombre de phases.
- g) Puissance assignée (en kVA ou en MVA). (Pour les transformateurs à plus de deux enroulements, il convient de donner la puissance assignée de chacun d'eux. Il y a lieu d'indiquer également les combinaisons de charges, sauf si la puissance assignée de l'un des enroulements est égale à la somme des puissance assignées des autres enroulements.)
- h) Fréquence assignée (en Hz).
- i) Tensions assignées (en V ou kV) et étendue de prises.
- j) Courants assignés (en A ou kA).
- k) Symbole de couplage.
- l) Impédance de court-circuit, valeur mesurée en pourcentage. Pour les transformateurs à plus de deux enroulements, on donnera plusieurs impédances correspondant à différentes combinaisons de deux enroulements avec les valeurs de puissances de référence respectives. Pour les transformateurs avec un enroulement à prises, voir aussi 5.5 et le point b) de 7.2.

- m) Mode de refroidissement. (Si le transformateur a plusieurs modes assignés de refroidissement, les puissances correspondantes peuvent être exprimées en pourcentage de la puissance assignée, par exemple ONAN/ONAF 70/100%).
- n) Masse totale.
- o) Masse de l'huile isolante.

Si le transformateur a plus d'un ensemble de régimes assignés selon les différentes connexions d'enroulements qui ont été spécifiquement prévues à la construction, les régimes assignés supplémentaires doivent tous être indiqués sur la plaque signalétique, ou sur des plaques signalétiques différentes pour chaque ensemble.

7.2 Informations supplémentaires à donner le cas échéant

- a) Pour les transformateurs dont l'un au moins des enroulements est tel que sa «tension maximale admissible» U_m est supérieure ou égale à 3,6 kV:
 - notation abrégée des niveaux d'isolement (tensions de tenue), telle que décrite à l'article 3 de la CEI 76-3.
- b) Pour les transformateurs avec un enroulement à prises, les particularités des prises sont les suivantes:
 - pour les transformateurs dont l'étendue de prise n'excède pas $\pm 5\%$: les tensions de prise pour toutes les prises de l'enroulement à prises. Cela s'applique en particulier aux transformateurs de distribution;
 - pour les transformateurs dont l'étendue de prise excède $\pm 5\%$: un tableau donnant la tension, le courant et la puissance de prise pour toutes les prises. De plus, les impédances de court-circuit doivent être données pour la prise principale et les prises extrêmes au moins, de préférence en ohms par phase pour un enroulement spécifique.
- c) Echauffement de l'huile au sommet et échauffement des enroulements (si ce ne sont pas des valeurs normales). Quand un transformateur est spécifié pour installation à haute altitude, cela doit être indiqué simultanément avec l'information donnant, soit les valeurs réduites d'échauffement admissibles dans les conditions ambiantes normales, soit la charge réduite qui résulterait d'un échauffement normal à haute altitude (transformateur standard avec capacité normale de refroidissement).
- d) Nature du liquide isolant, si ce n'est pas de l'huile minérale.
- e) Schéma de couplage (dans le cas où les symboles de couplage ne donnent pas d'indication complète en ce qui concerne les connexions intérieures). Si les connexions peuvent être changées à l'intérieur du transformateur, il faut l'indiquer sur une plaque séparée ou doubler les plaques signalétiques. On doit indiquer quelles sont les connexions qui ont été réalisées en usine.
- f) Masse pour le transport (pour les transformateurs dont la masse totale dépasse 5 t).
- g) Masse à soulever pour décuver (pour les transformateurs dont la masse totale dépasse 5 t).
- h) Résistance au vide de la cuve et du conservateur.

En plus de la plaque signalétique principale, donnant les informations inscrites ci-dessus, le transformateur doit aussi être muni de plaques donnant l'identification et les caractéristiques des équipements auxiliaires, conformément aux normes s'y rapportant (traversées, changeurs de prises, transformateurs de courant, équipement de refroidissement particulier).

8 Prescriptions diverses

8.1 Dimensionnement de la connexion de neutre

Le conducteur neutre et la borne neutre des transformateurs (par exemple transformateurs de distribution), destinés à alimenter une charge placée entre phase et neutre doivent être

dimensionnés pour le courant de charge adéquat et le courant de défaut à la terre (voir la CEI 606).

Le conducteur neutre et la borne neutre des transformateurs non prévus pour alimenter une charge placée entre phase et neutre, doivent être dimensionnés pour le courant de défaut à la terre.

8.2 Système de préservation d'huile

Pour les transformateurs immergés dans l'huile, le type de conservateur d'huile doit être spécifié dans l'appel d'offre et la commande. On distingue les types suivants:

- Système respirant librement ou conservateur tel que la communication entre l'air ambiant et l'air en contact avec l'huile, dans la cuve ou dans un vase d'expansion séparé (conservateur), reste libre. Un déshydrateur est en principe installé sur la liaison avec l'atmosphère.
- Système de préservation d'huile à diaphragme dans lequel un volume d'expansion plein d'air à pression atmosphérique est au-dessus de l'huile, mais étant isolé de l'huile par un diaphragme flexible ou une membrane.
- Système à gaz inerte sous pression où le volume d'expansion au-dessus de l'huile est rempli de gaz inerte sec en faible surpression, et est relié à une source de pression contrôlée, ou à une vessie élastique.
- Système scellé avec matelas gazeux dans lequel un volume de gaz placé au-dessus de la surface de l'huile, dans une cuve rigide, absorbe l'expansion de l'huile, par variation de la pression.
- Système étanche plein d'huile, dans lequel l'expansion de l'huile est permise par un mouvement élastique du réservoir généralement ondulé et étanche en permanence.

8.3 Déclenchement de la charge sur les transformateurs de groupe

Les transformateurs destinés à être reliés directement aux bornes de groupe, de telle façon qu'ils peuvent avoir à subir les conséquences d'un déclenchement de la charge, doivent être capables de supporter l'application pendant 5 s d'une tension égale à 1,4 fois la tension assignée aux bornes du transformateur auxquelles le groupe doit être raccordé.

9 Tolérances

Il n'est pas toujours possible, en particulier pour des transformateurs de grande puissance à plus de deux enroulements à relativement basse tension assignée, d'ajuster avec une grande précision les rapports des spires correspondant aux rapports de transformation assignés prescrits. Il y a aussi d'autres grandeurs qui ne peuvent pas être explorées avec exactitude pendant l'appel d'offres ou qui sont sujettes aux incertitudes de fabrication et aux erreurs de mesure.

C'est pourquoi, des tolérances sont nécessaires pour certaines valeurs garanties.

Le tableau 1 donne les tolérances applicables à certaines grandeurs assignées et à d'autres grandeurs lorsqu'elles font l'objet des garanties du constructeur citées dans cette norme. Lorsqu'une tolérance dans un sens n'est pas indiquée, la valeur n'est soumise à aucune restriction dans ce sens.

Un transformateur est considéré comme satisfaisant à la présente norme, quand les quantités soumises aux tolérances ne sont pas à l'extérieur des tolérances données par le tableau 1.

Dans des cas spéciaux, lorsque des tolérances autres que celles détaillées dans le tableau 1 sont nécessaires, celles-ci doivent faire l'objet d'un accord entre constructeur et acheteur avant la commande.

Tableau 1 – Tolérances

Articles		Tolérance
1. a) Pertes totales b) Pertes partielles	} voir la note 1	+10 % des pertes totales +15 % de chacune des pertes partielles, à condition de ne pas dépasser la tolérance sur les pertes totales
2 Rapport de transformation à vide pour la prise principale pour une première paire spécifiée d'enroulements Rapport de transformation sur les autres prises pour la même paire Rapport de transformation pour les autres paires		La plus faible des deux valeurs suivantes: a) $\pm 0,5 \%$ du rapport spécifié b) $\pm 1/10$ du pourcentage réel de l'impédance sur la prise principale Doit faire l'objet d'un accord mais sans être inférieure à la plus faible des valeurs a) et b) ci-dessus Doit faire l'objet d'un accord mais sans être inférieure à la plus faible des valeurs a) et b) ci-dessus
3. Impédance de court-circuit pour: - un transformateur à deux enroulements séparés ou - une première paire spécifiée d'enroulements séparés d'un transformateur à plus de deux enroulements a) prise principale b) Toute autre prise de la paire		Quand la valeur de l'impédance est $\geq 10 \pm 7,5 \%$ de la valeur déclarée Quand la valeur de l'impédance est $< 10 \pm 10 \%$ de la valeur déclarée Quand la valeur de l'impédance est $\geq 10 \pm 10 \%$ de la valeur déclarée Quand la valeur de l'impédance est $< 10 \pm 15 \%$ de la valeur déclarée
4. Impédance de court-circuit pour: - une paire d'enroulements auto-connectés, ou - une seconde paire spécifiée d'enroulements séparés d'un transformateur à plus de deux enroulements a) Prise principale b) Toute autre prise de la paire - Paires supplémentaires d'enroulements		$\pm 10 \%$ de la valeur déclarée 15 % de la valeur déclarée de la prise Doit faire l'objet d'un accord mais $\geq 15 \%$
5 Courant à vide		+30 % de la valeur déclarée
NOTES 1 Dans le cas des transformateurs à plus de deux enroulements, les tolérances sur les pertes s'étendent pour chaque paire d'enroulements à moins que la garantie ne précise qu'elles se rapportent à une combinaison de charges déterminée. 2 Pour certains autotransformateurs et certains transformateurs survolteurs-dévolteurs, la faible valeur de l'impédance justifie une tolérance plus libérale. Les transformateurs dont l'étendue de prises est importante, en particulier ceux dont la plage de réglage est asymétrique, peuvent aussi requérir une considération spéciale. Par contre, quand un transformateur doit être associé à des unités pré-existantes, on peut être amené à spécifier et à agréer des tolérances d'impédance plus faibles. Les problèmes de tolérances particulières doivent être soulignés au moment de l'appel d'offre et les tolérances révisées doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur 3 «valeur déclarée» devrait être interprétée comme signifiant la valeur déclarée par le constructeur.		

10 Essais

10.1 Conditions générales pour les essais individuels, les essais de type et les essais spéciaux

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

Les essais doivent être effectués à une température ambiante quelconque comprise entre 10 °C et 40 °C et avec une eau de refroidissement (s'il y a lieu) dont la température ne dépasse pas 25 °C.

Les essais doivent être effectués dans les ateliers du constructeur, sauf accord contraire entre l'acheteur et le constructeur.

Les essais sur des unités individuelles d'un groupe de transformateurs identiques peuvent faire l'objet d'un accord entre constructeur et acheteur pour ce qui concerne le choix de l'essai. Des essais de type et des essais spéciaux peuvent être réalisés sur plus d'une unité d'un lot si cela est spécifié par l'acheteur au moment de la commande.

La séquence de déroulement des essais et le choix des unités sur lesquels ils sont réalisés doivent également faire l'objet d'un accord au moment de la commande.

Tous les composants extérieurs et accessoires qui sont susceptibles d'influencer le fonctionnement du transformateur pendant l'essai, doivent être en place.

Les enroulements à prise doivent être reliés à leur prise principale, à moins qu'il n'en soit spécifié autrement par l'article relatif à l'essai en cause ou par accord entre le constructeur et l'acheteur.

Pour toutes les caractéristiques autres que l'isolement, les essais sont basés sur les conditions assignées, à moins qu'il n'en soit spécifié autrement par l'article relatif à l'essai en cause.

Tous les appareils de mesure utilisés pour les essais doivent être garantis, de précision connue et régulièrement recalibrés, conformément aux règles du 4.11 de l'ISO 9001.

NOTE . Des prescriptions spécifiques pour la précision et la vérification des systèmes de mesure sont en cours d'élaboration (voir CEI 606).

Quand les résultats des essais doivent être ramenés à une température de référence, il faut prendre:

- pour les transformateurs immergés dans l'huile: 75 °C;
- pour les transformateurs secs: les prescriptions générales d'essais de la CEI 726.

10.1.1 Essais individuels

- a) Mesure de la résistance des enroulements (10.2).
- b) Mesure du rapport de transformation et contrôle du déphasage (10.3).
- c) Mesure de l'impédance de court-circuit et des pertes dues à la charge (10.4).
- d) Mesure des pertes et du courant à vide (10.5).
- e) Essais diélectriques individuels (CEI 76-3).
- f) Essais sur les changeurs de prises en charge, s'il y a lieu (10.8).

10.1.2 Essais de type

- a) Essais d'échauffement (CEI 76-2).
- b) Essais de type diélectrique (CEI 76-3).

10.1.3 Essais spéciaux

- a) Essais diélectriques spéciaux (CEI 76-3).
- b) Détermination des capacités entre enroulement et terre, et entre les enroulements.
- c) Détermination des caractéristiques de transmission de tension transitoire.
- d) Mesure de l'impédance homopolaire ou des impédances homopolaires des transformateurs triphasés (10.7).
- e) Essai de tenue au court-circuit (CEI 76-5).
- f) Détermination des niveaux de bruit (CEI 551).
- g) Mesure des harmoniques du courant à vide (10.6).
- h) Mesure de la puissance absorbée par les moteurs des pompes à huile et des ventilateurs.
- i) Mesure de la résistance d'isolement des enroulements par rapport à la terre, et/ou mesure du facteur de dissipation ($\tan \delta$) des capacités d'isolement du système. (Ce sont des valeurs de référence pouvant être comparées avec des mesures ultérieures sur site. Aucune limite n'est donnée ici pour ces valeurs.)

Si certains essais ne sont pas décrits dans cette norme, ou si des essais autres que ceux mentionnés ci-dessus sont spécifiés dans le contrat, les méthodes d'essais doivent faire l'objet d'un accord.

10.2 Mesure de la résistance des enroulements

10.2.1 Généralités

On doit noter la résistance de chaque enroulement, les bornes entre lesquelles elle est mesurée et la température des enroulements. La mesure doit être effectuée en courant continu.

Dans toutes les mesures de résistance, on doit veiller à réduire au minimum les effets de l'auto-induction.

10.2.2 Transformateur du type sec

Avant toute mesure, le transformateur doit rester au moins 3 h au repos à température ambiante.

La résistance et la température de l'enroulement doivent être mesurées simultanément. La température de l'enroulement doit être mesurée par des capteurs placés à des positions significatives, de préférence dans les enroulements, par exemple, dans un canal entre les enroulements haute et basse tensions.

10.2.3 Transformateur immergés dans l'huile

On laisse le transformateur dans l'huile sans alimentation pendant au moins 3 h, puis on détermine la température moyenne de l'huile et on considère que la température de l'enroulement est égale à la température moyenne de l'huile. La température moyenne de l'huile est prise égale à la moyenne des températures en haut et en bas.

Quand on mesure la résistance au froid, en vue de la détermination de l'échauffement, il faut déployer des efforts particuliers pour déterminer avec précision la température moyenne de l'enroulement. C'est ainsi que la différence entre les températures de l'huile entre le haut et le bas doit être faible. Pour obtenir ce résultat plus rapidement, on peut faire circuler l'huile à l'aide d'une pompe.

10.3 Mesure du rapport de transformation et contrôle du déphasage

On mesure le rapport de transformation sur chaque prise. On doit contrôler la polarité des transformateurs monophasés et le symbole de couplage des transformateurs triphasés.

10.4 Mesure de l'impédance de court-circuit et des pertes dues à la charge

L'impédance de court-circuit et les pertes dues à la charge pour une paire d'enroulements doivent être mesurées à la fréquence assignée, une tension pratiquement sinusoïdale étant appliquée aux bornes de l'un des enroulements, les bornes de l'autre enroulement étant court-circuitées, et les autres enroulements, s'il y en a, étant en circuit ouvert. (Choix de la prise pour l'essai, voir 5.5 et 5.6). Le courant d'alimentation doit être au moins égal à 50 % du courant assigné (courant de prise). Les mesures doivent être faites rapidement pour que les échauffements n'introduisent pas d'erreurs significatives. La différence de température de l'huile entre le haut et le bas doit être suffisamment faible pour permettre la détermination de la température moyenne, avec la précision requise. Si le système de refroidissement est OF ou OD, on peut faire circuler l'huile avec une pompe pour la mélanger.

La valeur mesurée des pertes dues à la charge doit être multipliée par le carré du rapport du courant assigné (courant de prise) au courant utilisé pour l'essai. La valeur obtenue doit être ramenée à la température de référence (10.1). Les pertes par effet Joule $I^2 R$ (R étant la résistance en courant continu) varient suivant la résistance de l'enroulement et les autres pertes varient en sens inverse. La résistance doit être déterminée conformément à 10.2. La méthode de correction de la température est donnée en annexe E.

L'impédance de court-circuit est représentée par une réactance et une résistance en courant alternatif en série. La valeur de l'impédance doit être ramenée à la température de référence, sachant que la réactance est constante et que la résistance en courant alternatif dépend des pertes en charge, comme on l'a vu précédemment.

Pour les transformateurs avec un enroulement à prises dont l'étendue de prise dépasse $\pm 5\%$, l'impédance de court-circuit doit être mesurée sur la prise principale et les deux prises extrêmes. Des mesures sur des positions de prise supplémentaires peuvent également être réalisées par accord entre constructeur et acheteur.

Pour les transformateurs à trois enroulements, les mesures sont faites pour les trois paires d'enroulements. Les résultats sont repris en considérant les impédances et les pertes de chaque enroulement (voir la CEI 606). Les pertes totales des cas de charge spécifiés pour ces enroulements, sont déterminées en conséquence.

NOTES

1 Pour les transformateurs dont deux enroulements secondaires ont la même puissance assignée, la même tension assignée et la même impédance par rapport au primaire (parfois appelés transformateurs «à double secondaire»), un accord est possible pour étudier le cas de charge symétrique dans un essai supplémentaire mettant simultanément en court-circuit les deux enroulements.

2 La mesure des pertes dues à la charge sur les grands transformateurs requiert beaucoup de soin et de bons équipements de mesure, du fait du faible facteur de puissance et des courants d'essai souvent importants. On corrigera les erreurs de mesure dues aux transformateurs de mesure ou à la résistance des connexions utilisées pour les essais, sauf si elles sont visiblement négligeables (voir CEI 606).

10.5 Mesures des pertes et du courant à vide

Les pertes à vide et le courant à vide doivent être mesurés sur un des enroulements à la fréquence assignée et sous une tension égale à la tension assignée si l'essai est effectué sur la prise principale, ou égale à la tension de prise appropriée si l'essai est effectué sur une autre prise. Le ou les autres enroulements doivent être laissés à circuit ouvert et le ou les enroulements qui peuvent être connectés en triangle ouvert, doivent avoir leur triangle fermé.

Le transformateur doit être approximativement à la température ambiante de l'usine.

Pour un transformateur triphasé, le choix de l'enroulement et la connexion à la source de puissance d'essai doivent être faits de façon à avoir des tensions dans les trois noyaux bobinés aussi symétriques et sinusoïdales que possible.

La tension d'essai doit être ajustée par un voltmètre qui mesure la valeur moyenne de la tension, mais qui est gradué de façon à donner la valeur efficace d'une tension sinusoïdale ayant la même valeur moyenne. La valeur lue par ce voltmètre est U' .

Simultanément, un voltmètre mesurant la valeur efficace de la tension doit être branché en parallèle avec le voltmètre de valeur moyenne, et la tension U qu'il indique doit être enregistrée.

Quand un transformateur triphasé est essayé, les tensions doivent être mesurées entre les bornes de phase, si un enroulement triangle est excité, et entre les bornes de phase et du neutre, si un enroulement YN ou ZN est excité.

La forme de la tension d'essai est satisfaisante si :

- le facteur total de distorsion harmonique est $\leq 5\%$
- les lecteurs de U et U' sont égaux à 3 % près.

NOTE - On sait que les conditions les plus sévères de charge pour l'exactitude de la source de tension d'essai sont généralement imposées par les grands transformateurs monophasés.

Les pertes à vide mesurées sont P_m et les pertes à vide corrigées sont prises égales à:

$$P_0 = P_m(1+d)$$

$$d = \frac{U' - U}{U} \quad (\text{habituellement négatif})$$

Si le facteur total de distorsion harmonique est $> 5\%$ et/ou la différence de lecture de tensions est supérieure à 3%, la validité de l'essai est subordonnée à un accord.

La valeur efficace du courant à vide et les pertes sont mesurées simultanément. Pour un transformateur triphasé, on prend la moyenne des valeurs des trois phases.

NOTE - En choisissant le lieu où sont faits les essais à vide dans la séquence complète des essais, il convient de garder à l'esprit que les mesures de pertes à vide faites avant les essais de chocs et/ou les essais d'échauffement sont, en général, représentatives du niveau des pertes moyennes en service prolongé. Si on fait ces essais après les autres, ils donnent parfois des valeurs plus fortes du fait des petits arcs qui se produisent entre les bords laminés pendant les essais de chocs, etc. De telles mesures peuvent être moins représentatives pour les pertes en service.

10.6 Mesure des harmoniques du courant à vide

Les harmoniques du courant à vide dans les trois phases sont mesurés et l'amplitude des harmoniques est exprimée en pourcentage de la composante fondamentale.

10.7 Mesures d'impédance(s) homopolaires (s) sur des transformateurs triphasés

L'impédance homopolaire est mesurée à la fréquence assignée entre les bornes de ligne réunies ensemble et le neutre d'un enroulement connecté en étoile ou en zigzag. Elle s'exprime en ohms par phase et est donnée par $3 U/I$, U étant la tension d'essai et I étant le courant d'essai.

On doit spécifier le courant de phase $\frac{I}{3}$

On doit s'assurer que le courant dans la connexion de neutre est compatible avec la capacité de charge de celui-ci.

Dans le cas d'un transformateur avec un enroulement additionnel connecté en triangle, la valeur du courant d'essai doit être telle que le courant dans l'enroulement connecté en triangle ne soit pas excessif, compte tenu de la durée d'application.

S'il n'y a pas d'enroulement d'équilibrage des ampère-tours dans le système homopolaire, par exemple dans un transformateur étoile-étoile sans enroulement triangle, la tension appliquée ne doit pas excéder la tension phase-neutre correspondant au service normal. Il convient que le courant dans le neutre et la durée d'application soient limités, afin d'éviter des températures excessives dans les parties métalliques constitutives.

Dans le cas de transformateurs ayant plus d'un enroulement étoile à neutre sorti, l'impédance homopolaire dépend des connexions (voir 3.7.3) et les essais à effectuer doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

Les autotransformateurs possédant une borne neutre destinée à être mise à la terre en permanence doivent être traités comme des transformateurs normaux à deux enroulements connectés en étoile. De cette façon, l'enroulement série et l'enroulement commun forment ensemble un circuit de mesure et l'enroulement commun seul forme l'autre. Les mesures sont effectuées avec un courant n'excédant pas la différence entre les courants assignés des côtés basse tension et haute tension.

NOTES

1 Quand il n'y a pas d'enroulement d'équilibrage des ampère-tours, la relation entre tension et courant n'est généralement pas linéaire. Dans ce cas, plusieurs mesures avec des valeurs de courant différentes peuvent donner une information utile.

2 L'impédance homopolaire dépend de la disposition physique des enroulements et des parties magnétiques, et les mesures sur différents enroulements peuvent, de ce fait, ne pas concorder.

10.8 Essais sur les changeurs de prises en charge

10.8.1 Essai de fonctionnement

Une fois le changeur de prises complètement monté sur le transformateur, la séquence d'opérations suivante doit être effectuée sans aucune défaillance:

- a) huit cycles de fonctionnement complets, le transformateur n'étant pas alimenté (un cycle de fonctionnement balaie toute l'échelle de réglage dans un sens puis dans l'autre).
- b) un cycle de fonctionnement complet, le transformateur n'étant pas alimenté, avec 85 % de la tension assignée d'alimentation des auxiliaires.
- c) un cycle complet de fonctionnement avec le transformateur mis sous tension à vide, à la fréquence assignée et sous la tension assignée.

- d) avec un enroulement en court-circuit et autant que possible le courant assigné dans l'enroulement à prises, dix opérations de changement de prises tous les deux échelons de part ou d'autre de la position où un sélecteur des prises à réglage grossier ou un inverseur opère, ou autrement autour de la prise moyenne.

10.8.2 Essai d'isolement des circuits auxiliaires

Une fois le changeur de prise monté sur le transformateur, un essai à fréquence industrielle doit être appliqué aux circuits auxiliaires, comme spécifié dans la CEI 76-3.

11 Compatibilité électromagnétique (CEM)

Les transformateurs de puissance doivent être considérés comme des éléments passifs eu égard à l'émission et à l'immunité aux perturbations électromagnétiques.

NOTE 1 : Certains accessoires peuvent être sensibles à des interférences électromagnétiques.

NOTE 2 : Le rapport R014-001 décrit des considérations électromagnétiques sur les transformateurs de puissance et fournit quelques méthodes d'évaluation des champs électriques et magnétiques liés aux connexions.

NOTE 3 : Les éléments passifs ne sont pas susceptibles de créer des perturbations électromagnétiques et leurs performances ne sont pas susceptibles d'être affectées par de telles perturbations.

Annexe A (normative)

Renseignements à fournir à l'appel d'offres et à la commande

A.1 Régime assigné et caractéristiques générales

A. 1.1 Conditions normales

Les informations suivantes doivent être données dans tous les cas:

- a) Spécifications particulières auxquelles le transformateur doit satisfaire.
- b) Type de transformateur, par exemple transformateur à enroulements séparés, autotransformateur ou transformateur survolteur-dévolteur.
- c) Transformateurs monophasés ou triphasés.
- d) Nombre de phases du réseau.
- e) Fréquence.
- f) Transformateur du type sec ou immergé. Dans ce dernier cas, indiquer s'il s'agit d'huile minérale ou d'un liquide isolant synthétique. Pour un transformateur de type sec, degré de protection (voir CEI 529).
- g) Type intérieur ou extérieur.
- h) Mode de refroidissement.

- i) Puissance assignée de chaque enroulement et, dans le cas où l'étendue de prise dépasse $\pm 5\%$, prise à courant maximal s'il y a lieu.

Si le transformateur possède plusieurs modes possibles de refroidissement, il faut donner les niveaux de puissance inférieurs en même temps que la puissance assignée (qui correspond au mode de refroidissement le plus efficace).

- j) Tensions assignées pour chaque enroulement.
- k) Pour un transformateur à prises:
 - quel est l'enroulement à prises, le nombre de prises, l'étendue de prises ou l'échelon;
 - si le changeur de prises est de type «changeur de prise en charge» ou «hors tension»
 - si l'étendue de prise est supérieure à $\pm 5\%$, le type de réglage et la position de la prise à courant maximal, s'il y a lieu, voir 5.4.
- l) Tension la plus élevée (U_m) pour le matériel relative à un enroulement de transformateur (caractéristique de l'isolement, d'après la CEI 76-3).
- m) Conditions de mise à la terre du réseau (pour chaque enroulement).
- n) Niveau d'isolement (voir la CEI 76-3) (pour chaque enroulement).
- o) Symbole de couplage et bornes neutres, pour chaque enroulement si cela est prescrit.
- p) Particularités d'installation, de montage, de transport et de manutention. Limitations en dimensions et en masse.
- q) Détails sur la tension d'alimentation des auxiliaires (pour pompes et ventilateurs, changeur de prises, alarmes, etc.).
- r) Accessoires prescrits et indication du côté où les appareils indicateurs, plaques signalétiques, niveau l'huile, etc., doivent être lisibles.
- s) Type de conservateur d'huile.

- t) Pour les transformateurs à plus de deux enroulements, combinaison des charges demandées en indiquant séparément, s'il y a lieu, leurs composantes actives et réactives, notamment dans le cas d'un autotransformateur à plus de deux enroulements.

A.1 .2 Conditions particulières

Il peut être nécessaire de donner les informations supplémentaires suivantes:

- a) Si un essai au choc de foudre est demandé, indiquer s'il comporte ou non un essai en onde coupée (voir la CEI 76-3).
- b) Indiquer si l'on doit prévoir un enroulement de stabilisation et, dans ce cas, indiquer le mode de mise à la terre.
- c) Impédance de court-circuit, ou plage de variation d'impédance (voir annexe C). Pour les transformateurs à plus de deux enroulements, toutes les impédances qui sont spécifiées pour des paires d'enroulements particuliers (avec les prises de référence si les valeurs sont données en pourcentage).
- d) Les tolérances sur les rapports de transformation et les impédances de court-circuit laissées au choix dans le tableau 1, ou différentes des valeurs données dans ce tableau.
- e) Si un transformateur doit être connecté à un générateur directement ou par un appareil de connexion, et s'il sera sujet à des conditions de déclenchement de charge.
- f) Si un transformateur doit être connecté directement ou par une ligne aérienne de courte longueur à un appareil de connexion à isolement gazeux.
- g) Altitude au-dessus du niveau de la mer si elle dépasse 1 000 m.
- h) Conditions particulières de température ambiante (voir 1.2.1 b)), ou restrictions à la circulation d'air de refroidissement.
- i) Activité sismique présumée sur le site à prendre tout particulièrement en considération.
- j) Limites dimensionnelles particulières qui peuvent avoir des conséquences sur les distances d'isolement et la position des bornes du transformateur.
- k) Si la forme d'onde du courant de charge peut être fortement altérée. Si une charge triphasée déséquilibrée est prévue. Dans les deux cas, donner des détails.
- l) Si les transformateurs seront soumis à de fréquentes surintensités, par exemple les transformateurs de fours ou de traction.
- m) Détails des surcharges cycliques régulières prévues, autres que celles qui sont considérées en 4.2 (pour permettre d'établir les spécifications des accessoires du transformateur).
- n) Autres conditions de service exceptionnelles.
- o) Couplages exigés au départ de l'usine, dans le cas des transformateurs ayant plusieurs possibilités de couplages des enroulements, et comment modifier ces couplages.
- p) Caractéristiques de court-circuit du réseau (données par la puissance ou le courant de court-circuit, ou les données d'impédance du réseau), et les limites éventuelles affectant la conception du transformateur (voir CEI 76-5).
- q) Si des mesures de bruit doivent être faites (voir CEI 551).
- r) Tenue au vide de la cuve du transformateur et, si possible, du conservateur, si une valeur déterminée est exigée.
- s) Tout essai spécial non cité plus haut qui pourrait être exigé.

A.2 Fonctionnement en parallèle

Si le fonctionnement en parallèle avec des transformateurs existants est prévu, il faut le préciser et donner les informations suivantes sur les transformateurs existants:

- a) Puissance assignée.
- b) Rapport de transformation assigné.
- c) Rapport de transformation correspondant aux prises autres que la prise principale.
- d) Pertes dues à la charge au courant assigné sur la prise principale et ramenée à la température de référence appropriée.
- e) Impédance de court-circuit sur la prise principale et au moins sur les prises extrêmes, si l'étendue de prises de l'enroulement à prises dépasse $\pm 5 \%$.
- f) Schéma des connexions, ou symbole de couplage, ou l'un et l'autre.

NOTE . Pour les transformateurs à plus de deux enroulements, des informations supplémentaires sont en général nécessaires.

Annexe B (informative)

Exemples de spécifications de transformateurs avec prises de réglage

Exemple 1 – Réglage à flux constant

Transformateur triphasé de régime assigné 66 kV/20 kV, 40 MVA, avec prises sur l'enroulement 66 kV, d'étendue $\pm 10\%$ en 11 positions de réglage. En abrégé: (66 $\pm 5 \times 2\%$) /20 kV.

catégorie de réglage :	RFC
puissance assignée :	40 MVA
tensions assignées :	66 kV/20 kV
enroulement à prises :	66 kV (étendue de prises $\pm 10\%$)
nombre de positions de réglage :	11

Si ce transformateur doit avoir des prises réduites, depuis la prise -6% , ajouter:

prise à courant maximal:	prise -6%
--------------------------	--------------

Le courant de prise de l'enroulement HT est alors limité à 372 A depuis la prise -6% jusqu'à la prise extrême -10% où la puissance de prise est réduite à 38,3 MVA.

Exemple 2 — Réglage à flux variable

Transformateur triphasé de régime assigné 66 kV/6 kV, 20 MVA, avec prise sur l'enroulement HT, d'étendue $+15\%$, -5% , mais ayant une tension de prise constante pour l'enroulement HT et variable pour l'enroulement BT de :

$$\frac{6}{0,95} = 6,32\text{kV} \text{ à } \frac{6}{1,15} = 5,22\text{kV}$$

catégorie de réglage	RFV
puissance assignée:	20 MVA
tensions assignées:	66 kV/6 kV
prises sur l'enroulement:	66 kV (étendue de prises $+15\%$, -5%)
nombre de positions de réglage:	13
tensions de prise de l'enroulement 6 kV:	6,32 kV, 6 kV, 5,22 kV

Si le transformateur doit avoir des prises à puissance réduite, ajouter par exemple:

prise à courant maximal: prise + 5 %.

Le «courant de prise» de l'enroulement sans prise (BT) est alors limité à 2 020 A depuis la prise + 5 % jusqu'à la prise extrême + 15 % dont la puissance de prise est réduite à 18,3 MVA.

Exemple 3 – Réglage combiné

Transformateur triphasé de régime assigné 160 kV/20 kV, 40 MVA avec prises sur l'enroulement 160 kV d'étendue ± 15 %. Le point de changement (prise à tension maximale), est la prise + 6 %, et la prise à courant maximal dans la catégorie de réglage RFC est la prise à -9 %:

tension assignée: 160 kV, étendue $\pm 10 \times 1,5$ %

Prises	Rapport de transformation	Tensions de prise		Courant de prise		Puissance de prise SMVA
		U_{HT} kV	U_{BT} kV	I_{HT} A	I_{BT} A	
1(+15%)	9,20	169,6	18,43	125,6	1 155	36,86
7(+6%)	8,48	169,6	20	136,2	1 155	40
11(0%)	8	160	20	144,4	1 155	40
17(-9%)	7,28	145,6	20	158,7	1 155	40
21 (-15%)	6,80	136	20	158,7	1 080	37,4

NOTES

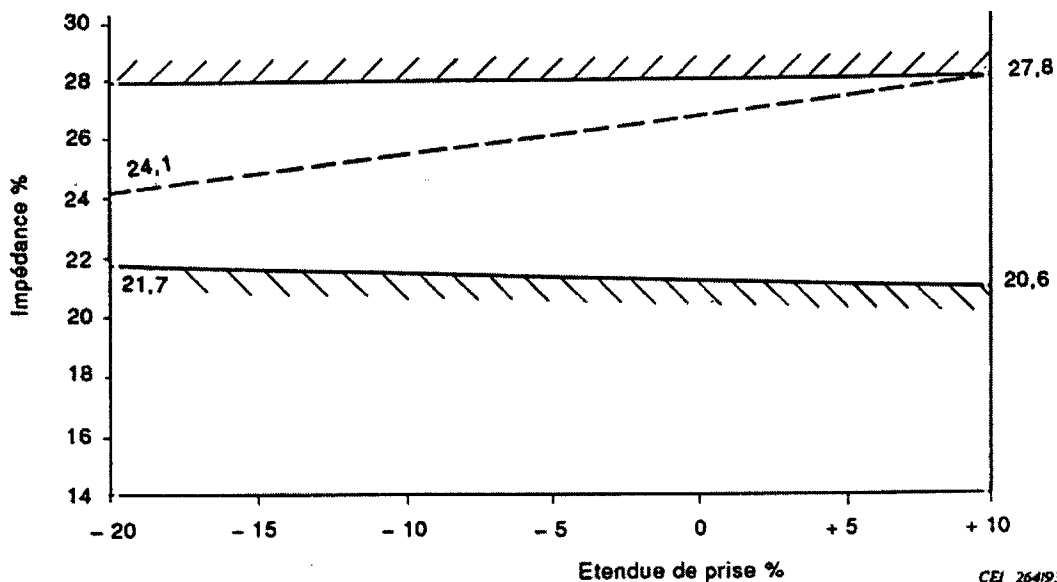
- 1 En complétant par les lignes intermédiaires, le tableau ci-dessus peut être utilisé sur une plaque signalétique.
- 2 Comparaison de ces spécifications avec des spécifications RFC qui seraient:

(160 \pm 15 %) /20kV - 40 MVA

La seule différence est que la tension de prise HT, d'après l'exemple, ne dépasse pas la «tension la plus élevée du réseau» du réseau HT, qui est de 170 kV (valeur normalisée de la CEI). La valeur de la «tension la plus élevée pour le matériel» qui caractérise l'isolement des enroulements, est aussi de 170 kV (voir CEI 76-3).

Annexe C (informative)

Spécification d'impédance de court-circuit par les limites



La limite supérieure est une valeur constante de l'impédance de court-circuit en pourcentage, qui est déterminée par la chute de tension admissible pour une certaine charge et un facteur de puissance spécifié.

La limite inférieure est déterminée par la surintensité de courant admissible au secondaire, au cours d'un défaut franc.

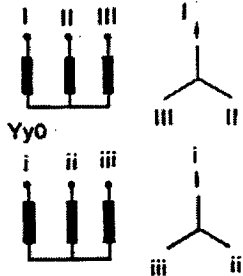
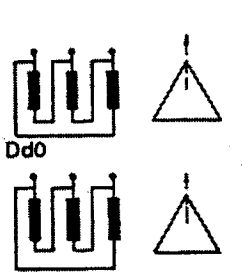
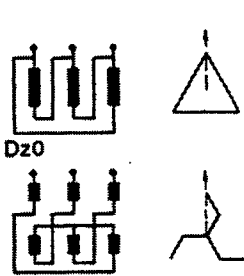
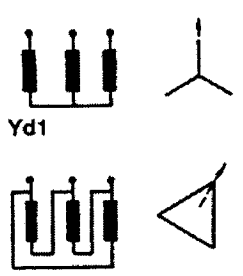
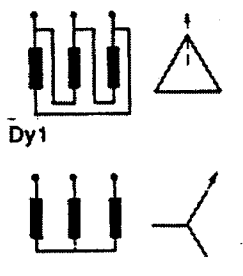
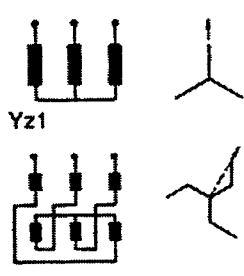
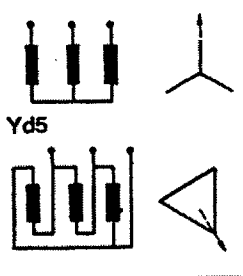
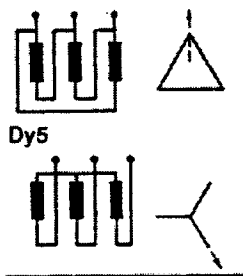
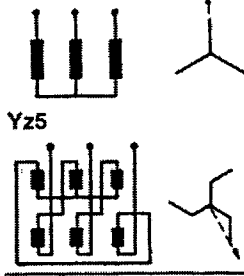
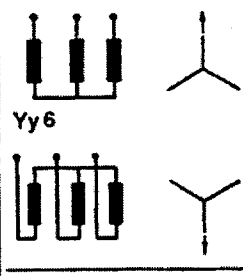
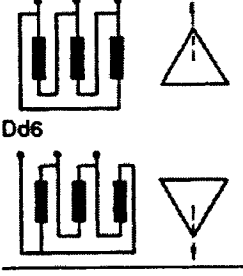
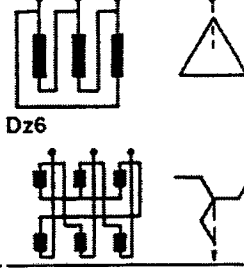
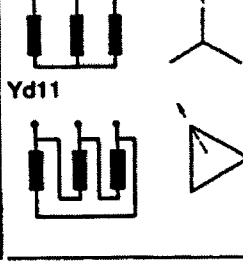
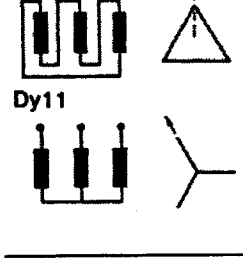
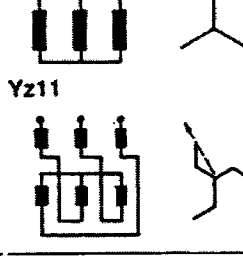
La ligne en pointillé est un exemple de courbe d'impédance de court-circuit d'un transformateur qui conviendrait à cette spécification.

Figure C.1 — Exemple de spécification d'impédance de court-circuit par les limites

Annexe D
(informative)

Couplage des transformateurs triphasés

Couplages usuels

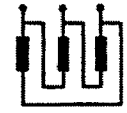

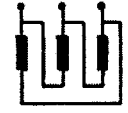

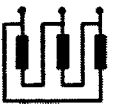

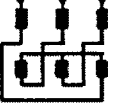

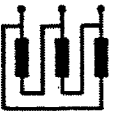

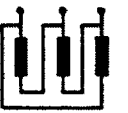




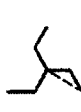
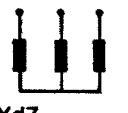
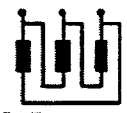

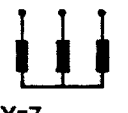



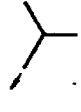

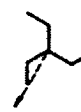
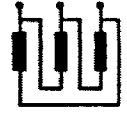

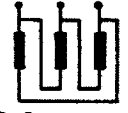



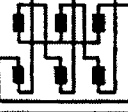
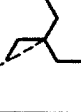
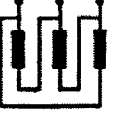

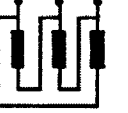

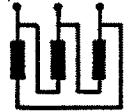

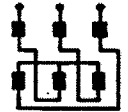

0			
1			
5			
6			
11			

Les conventions de dessin sont les mêmes que pour la figure 2 (article 6) du document principal
NOTE . Ces conventions diffèrent de celles qui ont été utilisées précédemment à la figure 5 de la CEI 76-4 (1976).

Figure D.1 — Couplages usuels

Couplage des transformateurs triphasés (Fin)

Couplages additionnels

2		 Dd2		 Dz2	
					
4		 Dd4		 Dz4	
					
7	 Yd7	 Dy7		 Yz7	
					
8		 Dd8		 Dz8	
					
10		 Dd10		 Dz10	
					

CEI 26693

Les conventions de dessin sont les mêmes que pour la figure 2 (article 6).
NOTE - Ces conventions diffèrent de celles qui ont été utilisées précédemment à la figure 5 de la CEI 76-4 (1976).

Figure D.2 – Couplages additionnels

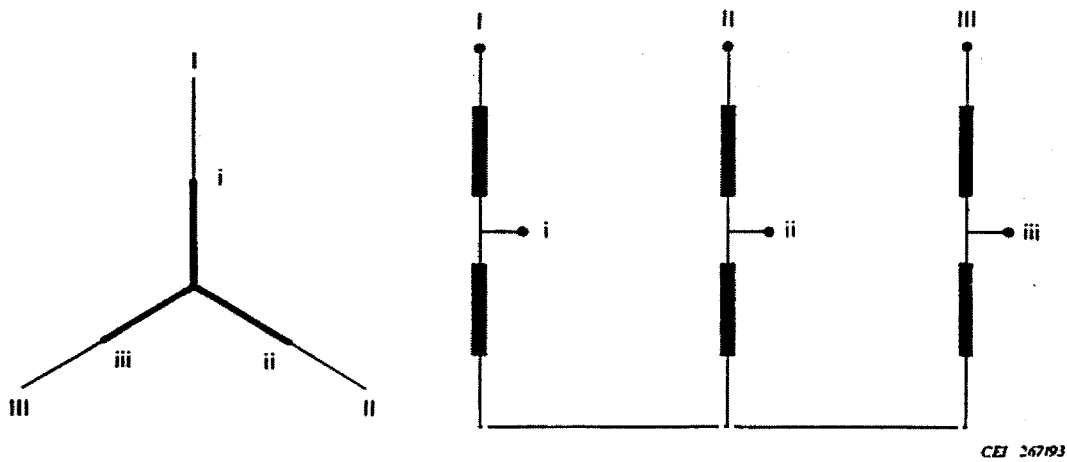


Figure D.3 — Désignation des couplages des autotransformateurs triphasés par des symboles de couplage. Autotransformateur YaO

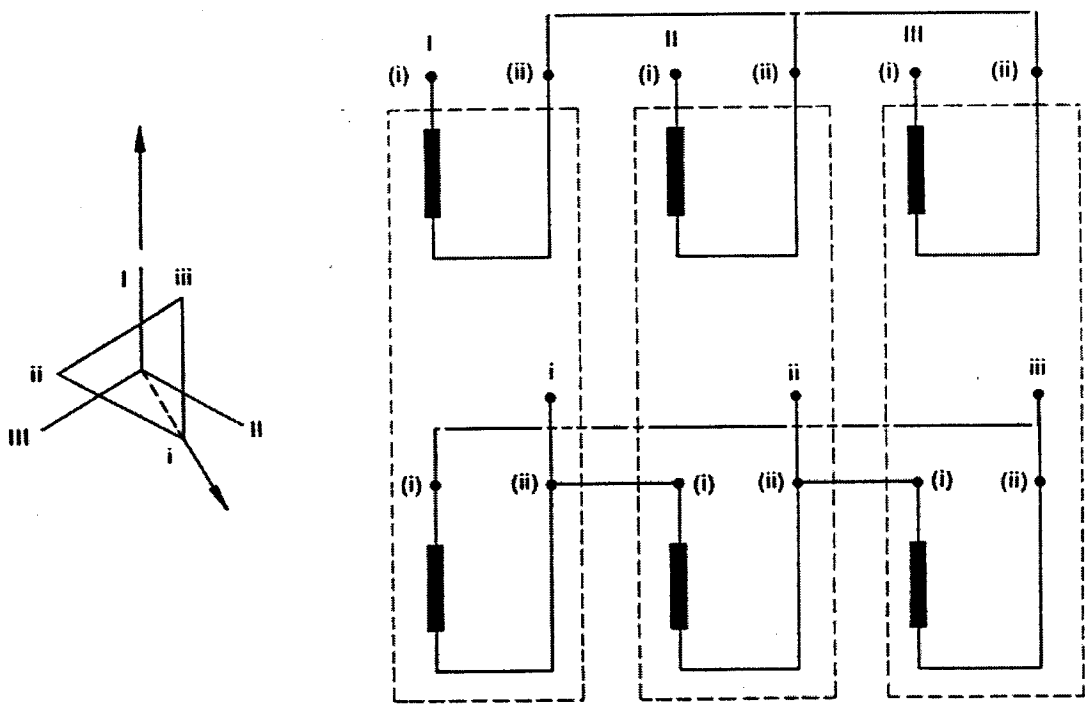


Figure D.4 — Exemple de trois transformateurs monophasés formant un groupe triphasé (symbole de couplage Yd5)

Annexe E (normative)

Influence de la température sur les pertes dues à la charge

Liste des symboles

Indice 1	Se rapporte aux mesures de la «résistance à froid de l'enroulement» (10.2).
Indice 2	Concerne les mesures de pertes dues à la charge (10.4).
r	Concerne les conditions à la «température de référence» (10.1).
R	Résistance
θ	Température d'enroulement en °C.
P	Pertes dues à la charge.
I	Courant de charge spécifique pour déterminer les pertes (courant assigné, courant de prise, autres valeurs spécifiées correspondant à des cas de charge particuliers).
P_a	«Pertes supplémentaires».

La mesure de la résistance d'enroulement est faite à la température θ_1 . La valeur mesurée est R_1 .

Les pertes dues à la charge sont mesurées à une température moyenne d'enroulement égale à θ_2 . Les pertes mesurées P_2 correspondent au courant I . Ces pertes correspondent aux «pertes joule» $I^2 R_2$ et aux «pertes supplémentaires»: P_{a2}

$$R_2 = R_1 \frac{235 + \theta_2}{235 + \theta_1} \text{ (cuivre)}$$

$$R_2 = R_1 \frac{225 + \theta_2}{225 + \theta_1} \text{ (aluminium)}$$

$$P_{a2} = P_2 - I^2 R_2$$

A la température de référence θ_r , la résistance de l'enroulement est R_r , les pertes supplémentaires P_{ar} et les pertes totales dues à la charge P_r .

$$R_r = R_1 \frac{235 + \theta_r}{235 + \theta_1} \text{ (cuivre)}$$

$$R_r = R_1 \frac{225 + \theta_r}{225 + \theta_1} \text{ (aluminium)}$$

$$P_{ar} = P_{a2} \frac{235 + \theta_2}{235 + \theta_r}$$

$$P_{ar} = P_{a2} \frac{225 + \theta_2}{225 + \theta_r}$$

Pour les transformateurs immergés dans l'huile, avec une température de référence de 75 °C, les formules deviennent les suivantes:

$$R_r = R_1 \frac{310}{235 + \theta_1} \text{ (cuivre)}$$

$$R_r = R_1 \frac{300}{225 + \theta_1} \text{ (aluminium)}$$

$$P_{ar} = P_{a2} \frac{235 + \theta_2}{310}$$

$$P_{ar} = P_{a2} \frac{225 + \theta_2}{300}$$

$$\text{D'où } P_r = P R_r + P_{ar}$$

Annexe F (informative)

Bibliographie

ANSI/IEEE C 57.12.00 Exigences générales pour les transformateurs de distribution, de puissance et de réglementation immergés dans un liquide

CEI 76-4 (1976) Transformateur de puissance – Quatrième partie: Prises et connexions (remplacé par la présente partie de la CEI 76)

Annexe ZA (normative)**Références normatives à d'autres publications internationales
avec les publications européennes correspondantes**

Cette norme européenne comporte par référence datée ou non datée des dispositions d'autres publications. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications sont énumérées ci-après. Pour les références datées les amendements ou révisions ultérieurs de l'une quelconque de ces publications ne s'appliquent à cette norme européenne que s'il y ont été incorporés par amendement ou révision. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence s'applique (y inclus les amendements).

NOTE: Dans le cas où une publication internationale est modifiée par des modifications communes, indiqué par (mod), il faut tenir compte de la EN / du HD approprié(e).

<u>Publication</u>	<u>Année</u>	<u>Titre</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Année</u>
CEI 50(421)	1990	Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) - Chapitre 412: Transformateurs de puissance et bobines d'inductance	-	-
CEI 68-3-3	1991	Essais d'environnement Partie 3: Guide - Méthodes d'essais sismiques applicables aux matériels	EN 60068-3-3	1993
CEI 76-2 (mod.)	1993	Transformateurs de puissance Partie 2: Echauffement	EN 60076-2	1997
CEI 76-3 (mod.)	1980	Partie 3: Niveaux d'isolement et essais diélectriques	HD 398.3 S1	1986
+ A1 (mod.)	1981			
CEI 76-3-1	1987	Partie 3: Niveaux d'isolement et essais diélectriques - Distances d'isolement dans l'air	-	-
CEI 76-5 (mod.)	1976 ¹⁾	Partie 5: Tenue au court-circuit	HD 398.5 S1	1983
A1	1979		A1	1988
CEI 137	1995	Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1 kV	EN 60137	1996
CEI 354	1991	Guide de charge pour transformateurs de puissance immergés dans l'huile	-	-
CEI 529	1989	Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)	EN 60529 + corr. mai	1991 1993
CEI 551 (mod.)	1987	Détermination des niveaux de bruit des transformateurs et des bobines d'inductance	EN 60551	1992

¹⁾ En révision, la dernière édition s'appliquera.

<u>Publication</u>	<u>Année</u>	<u>Titre</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Année</u>	
CEI 606	1978 ²⁾	Guide d'application pour les transformateurs de puissance		-	-
CEI 726 (mod.)	1982	Transformateurs de puissance de type sec	HD 464 S1 ³⁾ + A2 + A3 + A4	1988 1991 1992 1995	
CEI 815	1986	Guide pour le choix des isolateurs sous pollution		-	-
CEI 905	1987	Guide de charge pour les transformateurs de puissance de type sec		-	-
ISO 3	1973	Nombres normaux - Séries de nombres normaux		-	-
ISO 9001	1987	Systèmes qualité - Modèle pour l'assurance de la qualité en conception/développement, production, installation et soutien après la vente	EN 29001 ⁴⁾	1987	

²⁾ En révision, la dernière édition s'appliquera.

³⁾ Le HD 464 S1 comprend A1:1986 à la CEI 726:1982, mod.

⁴⁾ La EN 29001:1987 est remplacée par la EN ISO 9001:1994, qui est basée sur l'ISO 9001:1994.

