

# norme européenne

NF EN 60044-2

Novembre 2000

norme française

Indice de classement : **C 42-544-2**

ICS 29.260.20

## Transformateurs de mesure

Partie 2 : Transformateurs inductifs de tension

E : Instrument transformers - Part 2 : Inductive voltage transformers

D : Meßwandler - Teil 2 : Induktive Spannungswandler

---

### Norme française homologuée

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

Avec la partie 5 de la norme homologuée NF EN 60044, remplace la norme homologuée NF C 42-501, de mars 1973.

---

**Correspondance** La norme européenne EN 60044-2 :1999 a le statut d'une norme française. Elle reproduit la publication CEI 60044-2 :1997, avec des modifications

---

### Analyse

Le présent document est applicable aux transformateurs inductifs de tension destinés à être utilisés avec des appareils de mesure électriques et aux transformateurs de courant pour protection, d'usage courant et neufs, la fréquence du courant étant comprise entre 15 Hz et 100 Hz.

Il s'applique principalement aux transformateurs à enroulements séparés, mais il est valable aussi, dans la mesure du possible, pour les autotransformateurs.

dow :2002-01-01

### Descripteurs

Transformateur de mesure, transformateur de tension, transformateur inductif, conception, essais

---

**Modifications** Par rapport au document remplacé, adoption de la norme européenne

### Correction

---

Editée et diffusée par l'Union Technique de l'Electricité et de la Communication (UTE) – BP 23 – 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex – tél. : 01 40 93 62 00 – Fax : 01 40 93 44 08 – E-mail: ute@ute.asso.fr – Internet: <http://www.ute-fr.com/>  
Diffusée également par l'Association Française de Normalisation (Afnor) – 11, rue Francis de Pressensé – 93571 Saint-Denis La Plaine Cedex – tél. : 01 41 62 80 00

## AVANT-PROPOS NATIONAL

*Ce document constitue la version française complète de la norme européenne EN 60044-2 :1999 en reprenant le texte de la publication CEI 60044-2 :1997 modifiée.*

*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 60044-2, en septembre 1998.*

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

### 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 60028	1925			NFC30-010	1930
CEI 60038 (mod)	1983	HD 472 S1	1989	C 00-230	1986
CEI 60050-321	1986			C 01-321	1987
CEI 60060-1	1989	HD 588.1 S1	1991	NF C 41-101	1995
+ coord. mars	1990				
CEI 60071-1	1993	EN 60071-1	1995	NF EN 60071-1	1995
				Indice C 10-100	
CEI 60085	1984	HD 566 S1	1990	NF C 26-206	1985
CEI 60270	1981			UTE C 41-300	1968
CEI 60721	Série	EN 60721	Série	NF EN 60721-1	1995
		HD 478.2	Série	C 20-001	
CEI 60815	1986	HD 587 S1	1993		
<i>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.</i> <i>Les documents CEI sont en vente à l'UTE.</i>					

NORME EUROPEENNE  
EUROPÄISCHE NORM  
EUROPEAN STANDARD

**EN 60044-2**

Mars 1999

ICS 29.260.20

remplace HD 554 S1:1992

Version française

**Transformateurs de mesure**  
**Partie 2 : Transformateurs inductifs de tension**  
(CEI 60044-2:1997, modifiée)

Meßwandler  
Teil 2 : Induktive Spannungswandler  
(IEC 60044-2:1997, modifiziert)

Instrument transformers  
Part:2: Inductive voltage transformers  
(IEC 60044-2:1997, modified)

La présente norme européenne a été adoptée par le CENELEC le 1999-01-01. 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, République Tchèque, 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 60044-2:1997, préparé par le CE 38 de la CEI, Transformateurs de mesure, avec les modifications communes préparées par le comité technique CENELEC TC 38X, Transformateurs de mesure, a été soumis au vote formel et a été approuvé par le CENELEC comme EN 60044-2 le 1999-01-01.

Cette norme européenne remplace le HD 554 S1:1992.

Les dates suivantes ont été fixées:

- |   |            |
|---|------------|
| – date limite à laquelle la EN doit être mise en application<br>au niveau national par publication d'une norme<br>nationale identique ou par entérinement (dop) | 2000-01-01 |
| – date limite à laquelle les normes nationales<br>conflictuelles doivent être annulées (dow)  | 2002-01-01 |

Les annexes appelées "normatives" font partie du corps de la norme.  
Dans la présente norme, l'annexe ZA est normative.  
L'annexe ZA a été ajoutée par le CENELEC.

---

## SOMMAIRE

Articles	Pages
1 Généralités .....	5
1.1 Domaine d'application .....	5
1.2 Références normatives .....	5
2 Définitions .....	6
2.1 Définitions générales .....	6
2.2 Définitions complémentaires pour les transformateurs inductifs de tension monophasés pour protection .....	8
3 Prescriptions générales .....	9
4 Conditions de service normales et spéciales .....	9
4.1 Conditions de service normales .....	9
4.2 Conditions de service spéciales .....	10
4.3 Installations de mise à la terre .....	11
5 Valeurs normales .....	11
5.1 Valeurs normales des tensions assignées .....	11
5.2 Valeurs normales de la puissance de précision .....	12
5.3 Valeurs normales du facteur de tension assigné .....	12
5.4 Limites d'échauffement .....	13
6 Prescriptions relatives à la conception .....	14
6.1 Prescriptions relatives à l'isolement .....	14
6.2 Tenue au court-circuit .....	19
6.3 Prescriptions mécaniques .....	20
7 Classification des essais .....	20
7.1 Essais de type .....	21
7.2 Essais individuels .....	21
7.3 Essais spéciaux .....	22
8 Essais de type .....	22
8.1 Essai d'échauffement .....	22
8.2 Essai de tenue au court-circuit .....	22
8.3 Essai au choc sur l'enroulement primaire .....	23
8.4 Essai sous pluie pour les transformateurs du type extérieur .....	24
9 Essais individuels .....	25
9.1 Vérification du marquage des bornes .....	25
9.2 Essais de tenue à fréquence industrielle sur les enroulements primaires et mesure des décharges partielles .....	25
9.3 Essais de tenue à fréquence industrielle entre sections et sur les enroulements secondaires .....	27
10 Essais spéciaux .....	27
10.1 Essai au choc coupé sur l'enroulement primaire .....	27
10.2 Mesure de la capacité et du facteur de dissipation diélectrique .....	28
10.3 Essais mécaniques .....	28

11	Marquages .....	29
11.1	Marquage de la plaque signalétique.....	29
11.2	Marquage des bornes .....	30
12	Prescriptions pour la précision des transformateurs inductifs de tension monophasés pour mesures .....	30
12.1	Désignation de la classe de précision d'un transformateur de tension pour mesures .....	30
12.2	Limites de l'erreur de tension et du déphasage des transformateurs de tension pour mesures .....	31
12.3	Essais de type concernant la précision des transformateurs de tension pour mesures .....	31
12.4	Essais individuels concernant la précision des transformateurs de tension pour mesures .....	31
12.5	Marquage de la plaque signalétique d'un transformateur de tension pour mesures	32
13	Prescriptions complémentaires pour les transformateurs de tension monophasés pour protection .....	32
13.1	Désignation de la classe de précision d'un transformateur inductifs de tension pour protection .....	32
13.2	Limites de l'erreur de tension et du déphasage des transformateurs de tension pour protection .....	32
13.3	Tensions assignées de l'enroulement secondaire de tension résiduelle .....	33
13.4	Puissance de l'enroulement secondaire de tension résiduelle .....	33
13.5	Classe de précision de l'enroulement secondaire de tension résiduelle .....	34
13.6	Essais de type concernant les transformateurs de tension pour protection .....	34
13.7	Essais individuels concernant les transformateurs de tension pour protection.....	34
13.8	Marquage de la plaque signalétique d'un transformateur de tension pour protection	35
Annexe ZA (Normative) Références normatives à d'autres publications internationales avec les publications européennes correspondantes .....		43

## TRANSFORMATEURS DE MESURE – Partie 2: Transformateurs inductifs de tension

### 1 Généralités

#### 1.1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 44 est applicable aux transformateurs inductifs neufs destinés à être utilisés avec des appareils de mesure électriques et des dispositifs électriques de protection, de fréquence comprise entre 15 Hz et 100 Hz.

Elle s'applique principalement aux transformateurs à enroulements séparés, mais elle est valable aussi, dans la mesure du possible, pour les autotransformateurs. La présente norme n'est pas applicable aux transformateurs utilisés dans les laboratoires.

Bien que la présente norme ne comporte aucun article relatif aux exigences particulières pour les transformateurs triphasés, il a été estimé que les prescriptions générales des articles 3 à 11 pourraient leur être applicables. C'est pourquoi l'on trouve dans ces articles quelques références à leur cas (voir 2.1.4, 5.1.1, 5.2, et 11.2). Les transformateurs de tension triphasés à induction sont traités dans le HD 587 S1.

L'article 13 comprend les prescriptions et les essais qui complètent, en ce qui concerne les transformateurs de tension monophasés pour protection, ceux qui sont indiqués dans les articles 3 à 12. Les prescriptions de l'article 13 se rapportent en particulier aux transformateurs qui doivent avoir une précision pour actionner des systèmes de protection pour des tensions apparaissant en cas de défauts.

On considère que les transformateurs de mesure sont des éléments passifs.

NOTE : Pour les transformateurs de mesure extérieurs présentant des tensions  $\geq 123$  kV, les mesures de RIV conviennent pour répondre aux exigences de la Directive CEM. Le paragraphe 6.3 de la EN 60694:1996 peut être appliqué comme lignes directrices de la procédure d'essai.

#### 1.2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 44. 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 44 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 28: 1925, *Spécification internationale d'un cuivre-type recuit*

CEI 38: 1983, *Tensions normales de la CEI*

CEI 50(321): 1986, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 321: Transformateurs de mesure*

CEI 60-1: 1989, *Techniques des essais à haute tension – Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 71-1: 1993, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

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

CEI 270: 1981, *Mesure des décharges partielles*

CEI 721: *Classification des conditions d'environnement*

CEI 815: 1986, *Guide pour le choix des isolateurs sous pollution*

## 2 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 44, les définitions suivantes s'appliquent.

### 2.1 Définitions générales

**2.1.1 transformateur de mesure:** Transformateur destiné à alimenter des appareils de mesure, des compteurs, des relais et autres appareils analogues. [VEI 321-01-01 modifiée]

**2.1.2 transformateur de tension:** Transformateur de mesure dans lequel la tension secondaire est, dans les conditions normales d'emploi, pratiquement proportionnelle à la tension primaire et déphasée par rapport à celle-ci d'un angle voisin de zéro, pour un sens approprié des connexions. [VEI 321-03-01]

**2.1.3 transformateur de tension non mis à la terre:** Transformateur de tension dont toutes les parties de l'enroulement primaire, y compris les bornes, sont isolées par rapport à la terre à un niveau qui correspond à son niveau d'isolement assigné.

**2.1.4 transformateur de tension mis à la terre:** Transformateur de tension monophasé destiné à avoir l'une des extrémités de son enroulement primaire reliée directement à la terre ou transformateur de tension triphasé destiné à avoir le point neutre de son enroulement primaire relié directement à la terre.

**2.1.5 enroulement primaire:** Enroulement auquel est appliquée la tension à transformer.

**2.1.6 enroulement secondaire:** Enroulement qui alimente les circuits de tension des appareils de mesure, des compteurs, des relais et circuits analogues.

**2.1.7 circuit secondaire:** Circuit extérieur alimenté par l'enroulement secondaire d'un transformateur.

**2.1.8 tension primaire assignée:** Valeur de la tension primaire qui figure dans la désignation du transformateur et d'après laquelle sont déterminées ses conditions de fonctionnement.  
[VEI 321-01-12 modifiée]

**2.1.9 tension secondaire assignée:** Valeur de la tension secondaire qui figure dans la désignation du transformateur et d'après laquelle sont déterminées ses conditions de fonctionnement. [VEI 321-01-16 modifiée]

**2.1.10 rapport de transformation:** Rapport de la tension primaire réelle à la tension secondaire réelle. [VEI 321-01-18 modifiée]

**2.1.11 rapport de transformation assigné:** Rapport de la tension primaire assignée à la tension secondaire assignée. [VEI 321-01-20 modifiée]

**2.1.12 erreur de tension (erreur de rapport):** Erreur que le transformateur introduit dans la mesure d'une tension et qui provient de ce que le rapport de transformation n'est pas égal au rapport de transformation assigné. [VEI 321-01-22 modifiée]



L'erreur de tension, exprimée en pour-cent, est donnée par la formule:

$$\text{erreur de tension \%} = \frac{K_n U_s - U_p}{U_p} \times 100$$

où

$K_n$  est le rapport de transformation assigné;

$U_p$  est la tension primaire;

$U_s$  est la tension secondaire correspondant à la tension  $U_p$  dans les conditions de la mesure.

**2.1.13 déphasage:** Différence de phase entre les vecteurs des tensions primaire et secondaire, le sens des vecteurs étant choisi de façon que cet angle soit nul pour un transformateur parfait. [VEI 321-01-23 modifiée]

Le déphasage est considéré comme positif lorsque le vecteur de la tension secondaire est en avance sur le vecteur de la tension primaire. Il est exprimé habituellement en minutes ou en centiradians.

NOTE – Cette définition n'est rigoureuse que pour des tensions sinusoïdales.

**2.1.14 classe de précision:** Désignation appliquée à un transformateur de tension dont les erreurs restent dans des limites spécifiées pour des conditions d'emploi spécifiées.

**2.1.15 charge:** Admittance du circuit secondaire, exprimée en siemens, avec indication du facteur de puissance (en retard ou en avance).

NOTE – La charge est généralement exprimée par la puissance apparente, en voltampères, absorbée à un facteur de puissance spécifié et sous la tension secondaire assignée.

**2.1.16 charge de précision:** Valeur de la charge sur laquelle sont basées les conditions de précision.

#### 2.1.17 puissance

**2.1.17.1 puissance de précision:** Valeur de la puissance apparente (en voltampères à un facteur de puissance spécifié) que le transformateur peut fournir au circuit secondaire à la tension secondaire assignée lorsqu'il est raccordé à sa charge de précision. [VEI 321-01-27 modifiée]

**2.1.17.2 puissance thermique limite:** Valeur de la puissance apparente, référée à la tension assignée, que le transformateur peut fournir au circuit secondaire, quand la tension assignée est appliquée au primaire, sans excéder les limites pour l'échauffement spécifiées en 5.4.

#### NOTES

1 En cette condition il est possible que les limites de l'erreur soient dépassées.

2 En cas de plusieurs enroulements secondaires, la valeur de la puissance thermique limite doit être spécifiée pour chaque enroulement.

3 L'utilisation simultanée de plusieurs enroulements secondaires n'est pas admise sans un accord entre constructeur et acheteur.

**2.1.18 tension la plus élevée pour le matériel:** Tension efficace entre phases la plus élevée pour laquelle est conçue l'isolation du transformateur.

**2.1.19 niveau d'isolement assigné:** Combinaison des valeurs de tension qui caractérise l'isolation du transformateur en ce qui concerne son aptitude à supporter les contraintes diélectriques.

**2.1.20 réseau à neutre isolé:** Réseau dont aucun point neutre n'a de connexion intentionnelle à la terre, à l'exception des liaisons à haute impédance destinées à des dispositifs de protection ou de mesure. [VEI 601-02-24]

**2.1.21 réseau à neutre directement à la terre:** Réseau dont le ou les points neutres sont reliés directement à la terre. [VEI 601-02-25]

**2.1.22 réseau à neutre non directement à la terre:** Réseau dont le ou les points neutres sont reliés à la terre par l'intermédiaire d'impédances destinées à limiter les courants de défaut à la terre. [VEI 601-02-26]

**2.1.23 réseau compensé par bobine d'extinction:** Réseau dont un ou plusieurs points neutres sont reliés à la terre par des réactances compensant approximativement la composante capacitive du courant de défaut monophasé à la terre. [VEI 601-02-27]

NOTE – Pour un réseau compensé par bobine d'extinction, le courant résiduel dans le défaut est limité à tel point qu'un arc de défaut dans l'air est généralement auto-extinguible.

**2.1.24 facteur de défaut à la terre:** En un emplacement donné d'un réseau triphasé, et pour un schéma d'exploitation donné de ce réseau, rapport entre d'une part la tension efficace la plus élevée, à la fréquence du réseau, entre une phase saine et la terre pendant un défaut à la terre affectant une phase quelconque ou plusieurs phases en un point quelconque du réseau, et d'autre part la valeur efficace de la tension entre phase et terre à la fréquence du réseau qui serait obtenue à l'emplacement considéré en l'absence du défaut. [VEI 603-03-06]

**2.1.25 réseau à neutre à la terre:** Réseau dont le neutre est relié à la terre soit directement, soit par une résistance ou réactance de valeur assez faible pour réduire les oscillations transitoires et laisser passer le courant suffisant pour la protection sélective contre les défauts à la terre.

a) Un réseau triphasé à neutre effectivement à la terre en un emplacement déterminé est un réseau caractérisé par un facteur de défaut à la terre en cet emplacement qui ne dépasse pas 1,4.

NOTE – Cette condition est approximativement réalisée quand le rapport de la réactance homopolaire à la réactance directe est inférieur à trois et le rapport de la résistance homopolaire à la réactance directe est inférieur à un pour toutes les configurations du réseau.

b) Un réseau triphasé à neutre non effectivement à la terre en un emplacement déterminé est un réseau caractérisé par un facteur de défaut à la terre en cet emplacement qui peut dépasser 1,4.

**2.1.26 installation en situation exposée:** Installation dans laquelle le matériel est soumis à des surtensions d'origine atmosphérique.

NOTE – Ces installations sont généralement connectées à des lignes aériennes directement ou par l'intermédiaire de câbles de faible longueur.

**2.1.27 installation en situation non exposée:** Installation dans laquelle le matériel n'est pas soumis à des surtensions d'origine atmosphérique.

NOTE – Ces installations sont généralement connectées à un réseau de câbles souterrains.

**2.1.28 fréquence assignée:** Valeur de la fréquence sur laquelle sont basées les prescriptions de la présente norme.

**2.1.29 facteur de tension assignée:** Facteur par lequel il faut multiplier la tension primaire assignée pour déterminer la tension maximale pour laquelle le transformateur doit répondre aux prescriptions d'échauffement correspondantes pendant un temps spécifié ainsi qu'aux prescriptions de précision correspondantes.

**2.1.30 transformateur de tension pour mesures:** Transformateur de tension destiné à alimenter des appareils de mesure, des compteurs et autres appareils analogues.

## **2.2 Définitions complémentaires pour les transformateurs inductifs de tension monophasés pour protection**

**2.2.1 transformateur de tension pour protection:** Transformateur de tension destiné à alimenter des relais électriques de protection.

**2.2.2 enroulement de tension résiduelle:** Enroulement d'un transformateur de tension monophasé destiné, pour un ensemble de trois transformateurs monophasés, à la constitution d'un triangle ouvert en vue de:

- a) fournir une tension résiduelle en cas de défaut à la terre;
- b) amortir les oscillations de relâchement (ferro-résonance).

### 3 Prescriptions générales

Tous les transformateurs doivent convenir pour l'usage de mesure mais certains, en plus, peuvent convenir pour des usages de protection. Les transformateurs utilisés à la fois pour les mesures et pour la protection doivent être conformes à tous les articles de la présente norme.

### 4 Conditions de service normales et spéciales

Des informations détaillées concernant la classification des conditions d'environnement sont données dans la série des CEI 721.

#### 4.1 Conditions de service normales

##### 4.1.1 Température d'air ambiante

Les transformateurs de tension sont classés en trois catégories comme indiqué au tableau 1.

**Tableau 1 – Catégories de température**

Catégorie	Température minimale °C	Température maximale °C
–5/40	–5	40
–25/40	–25	40
–40/40	–40	40
NOTE – Dans le choix de la catégorie de température, il convient également de tenir compte des conditions de stockage et de transport.		

##### 4.1.2 Altitude

L'altitude est inférieure à 1000 m.

##### 4.1.3 Vibrations ou tremblements de terre

Les vibrations dues à des causes externes au transformateur de tension ou aux tremblements de terre sont négligeables.

##### 4.1.4 Autres conditions de service pour des transformateurs de tension du type intérieur

Les autres conditions de service considérées sont les suivantes:

- a) l'influence du rayonnement solaire peut être négligée;
- b) l'air ambiant n'est pas pollué de manière significative par la poussière, la fumée, les gaz corrosifs, les vapeurs ou le sel;
- c) les conditions d'humidité sont les suivantes:

- 1) la valeur moyenne de l'humidité relative, mesurée pendant une période de 24 h, ne dépasse pas 95 %;
- 2) la valeur moyenne de la pression de vapeur d'eau, pendant une période de 24 h, ne dépasse pas 2,2 kPa;
- 3) la valeur moyenne de l'humidité relative, pendant une période d'un mois, ne dépasse pas 90 %;
- 4) la valeur moyenne de la pression de vapeur d'eau, pendant une période d'un mois, ne dépasse pas 1,8 kPa.

Avec de telles conditions, l'apparition de condensation est possible occasionnellement.

#### NOTES

- 1 On peut s'attendre à de la condensation lors de brusques changements de température se produisant dans des périodes de forte humidité.
- 2 Pour supporter les effets d'une forte humidité et de la condensation, tels que la détérioration de l'isolation ou la corrosion des parties métalliques, il convient d'utiliser des transformateurs de tension conçus pour de telles conditions.
- 3 La condensation peut être évitée par une conception spéciale de l'habillage, par une ventilation et un chauffage appropriés ou par l'utilisation de déshumidificateurs.

#### **4.1.5 Autres conditions de service pour des transformateurs de tension du type extérieur**

Les autres conditions de service considérées sont les suivantes:

- a) la valeur moyenne de la température d'air ambiant, mesurée sur une période de plus de 24 h, ne dépasse pas 35 °C;
- b) il convient de tenir compte du rayonnement solaire jusqu'à un niveau de 1000 W/m<sup>2</sup> (par une journée claire à midi);
- c) l'air ambiant peut être pollué par de la poussière, de la fumée, des gaz corrosifs, des vapeurs ou du sel. La pollution ne dépasse pas les niveaux de pollution donnés au tableau 8 ;
- d) la pression due au vent ne dépasse pas 700 Pa (ce qui correspond à une vitesse de l'air de 34 m/s);
- e) il convient de prendre en compte la présence de condensation ou de précipitations.

#### **4.2 Conditions de service spéciales**

Lorsque des transformateurs de tension peuvent être utilisés dans des conditions différentes des conditions normales de service données en 4.1, il convient que les exigences de l'utilisateur se réfèrent à des seuils normalisés comme suit.

##### **4.2.1 Altitude**

Pour des installations à une altitude supérieure à 1000 m, la distance d'arc dans les conditions atmosphériques de référence normalisées doit être déterminée en multipliant les tensions de tenue requises en conditions de service par un facteur k selon la figure 1.

NOTE – Pour l'isolation interne, la rigidité diélectrique n'est pas affectée par l'altitude. Il convient que la méthode de vérification de l'isolation externe fasse l'objet d'un accord entre constructeur et acheteur.

##### **4.2.2 Température ambiante**

Pour les installations situées là où la température ambiante peut s'écarter de manière significative des gammes de conditions de service normales fixées en 4.1.1, il convient que les gammes préférentielles de température minimale et maximale à spécifier soient:

- a) –50 °C et 40 °C pour les climats très froids;
- b) –5 °C et 50 °C pour les climats très chauds.

Dans certaines régions où l'apparition de vents chauds et humides est fréquente, de brusques variations de température peuvent entraîner l'apparition de condensations même en intérieur.

NOTE – Dans certaines conditions de rayonnement solaire, des mesures appropriées comme par exemple la couverture, la ventilation forcée, etc. peuvent être nécessaires afin de ne pas dépasser les échauffements spécifiés.

#### **4.2.3 Tremblements de terre**

Des règles et des essais sont à l'étude.

#### **4.3 Installations de mise à la terre**

Les installations de mise à la terre considérées sont les suivantes:

- a) réseau à neutre isolé (voir 2.1.20);
- b) réseau à neutre mis à la terre par bobine d'extinction (voir 2.1.23);
- c) réseau à neutre mis à la terre (voir 2.1.25):
  - 1) réseau à neutre mis directement à la terre (voir 2.1.21);
  - 2) réseau à neutre mis à la terre par impédance (voir 2.1.22).

### **5 Valeurs normales**

#### **5.1 Valeurs normales des tensions assignées**

##### **5.1.1 Tension primaire assignée**

Les valeurs normales de la tension primaire assignée des transformateurs triphasés et des transformateurs monophasés pour utilisation sur un réseau monophasé, ou entre phases sur un réseau triphasé, doivent être choisies parmi les valeurs des tensions assignées de réseaux désignées comme étant des valeurs usuelles de la CEI 38. Les valeurs normales de la tension primaire assignée des transformateurs monophasés utilisés entre une phase d'un réseau triphasé et la terre ou entre un point neutre du réseau et la terre sont  $1/\sqrt{3}$  fois les valeurs des tensions assignées de réseaux.

NOTE – Le fonctionnement d'un transformateur de tension utilisé en transformateur de mesure ou en transformateur de protection est basé sur la tension primaire assignée, tandis que le niveau d'isolement assigné est basé sur l'une des tensions les plus élevées pour le matériel de la CEI 38.

##### **5.1.2 Tension secondaire assignée**

La tension secondaire assignée doit être choisie selon la pratique à l'endroit où le transformateur doit être utilisé. Les valeurs indiquées ci-dessous sont considérées comme des valeurs normales pour les transformateurs monophasés utilisés sur des réseaux monophasés ou montés entre phases de réseaux triphasés:

- a) Basée sur la pratique courante d'un groupe de pays européens:
  - 100 V et 110 V;
  - 200 V pour les circuits secondaires étendus.
- b) Basée sur la pratique courante aux Etats-Unis et au Canada:
  - 120 V pour les réseaux de distribution;
  - 115 V pour les réseaux de transport;
  - 230 V pour les circuits secondaires étendus.

Pour les transformateurs monophasés destinés à être montés en phase et terre dans les réseaux triphasés, pour lesquels la tension primaire assignée est un nombre divisé par  $\sqrt{3}$ , la tension secondaire assignée doit être l'une des valeurs mentionnées ci-dessus, divisée par  $\sqrt{3}$  de manière à conserver la valeur du rapport de transformation assigné.

#### NOTES

- 1 La tension secondaire assignée des enroulements destinés à produire la tension secondaire résiduelle est donnée en 13.3.
- 2 Dans la mesure du possible, il convient que le rapport de transformation assigné soit une valeur simple. Si l'une des valeurs suivantes: 10 – 12 – 15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 50 – 60 – 80 et leurs multiples décimaux est utilisée pour le rapport de transformation assigné en même temps que l'une des tensions secondaires assignées de ce paragraphe, on obtient la majorité des valeurs normales de tensions assignées de réseaux de la CEI 38.

### 5.2 Valeurs normales de la puissance de précision

Les valeurs normales de la puissance de précision, exprimées en voltampères, pour un facteur de puissance de 0,8 (circuit inductif) sont:

10, 15, 25, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500 VA.

Les valeurs préférées sont soulignées. La puissance de précision d'un transformateur triphasé est celle par phase.

NOTE – Pour un transformateur donné, pourvu qu'il ait une puissance de précision normale correspondant à une classe normale, d'autres valeurs de puissances de précision qui pourraient ne pas être normales, mais correspondant à des classes normales, peuvent également être indiquées.

### 5.3 Valeurs normales du facteur de tension assigné

Le facteur de tension est déterminé par la tension maximale de fonctionnement, laquelle dépend à son tour du réseau et des conditions de mise à la terre de l'enroulement primaire du transformateur.

Les valeurs normales du facteur de tension assigné approprié aux différentes conditions de mise à la terre du réseau sont données dans le tableau 2 ci-après, de même que la durée admissible de l'application de la tension maximale de fonctionnement (c'est-à-dire durée assignée).

**Tableau 2 – Valeurs normales du facteur de tension assigné**

Facteur de tension assigné	Durée assignée	Mode de connexion de l'enroulement primaire et conditions de mise à la terre du réseau
1,2	Continue	Entre phases d'un réseau quelconque Entre point neutre de transformateurs en étoile et terre dans un réseau quelconque
1,2	Continue	Entre phase et terre dans un réseau à neutre effectivement à la terre (2.1.25 a))
1,5	30 s	
1,2	Continue	Entre phase et terre dans un réseau à neutre non effectivement à la terre (2.1.25 b)) avec élimination automatique du défaut à la terre
1,9	30 s	
1,2	Continue	Entre phase et terre dans un réseau à neutre isolé (2.1.20) sans élimination automatique du défaut à la terre, ou dans un réseau compensé par bobine d'extinction (2.1.23) sans élimination automatique du défaut à la terre
1,9	8 h	
NOTE – Des durées assignées réduites sont admissibles par accord entre le constructeur et l'utilisateur.		

#### 5.4 Limites d'échauffement

A moins qu'il n'en soit spécifié autrement ci-après, l'échauffement d'un transformateur de tension à la tension spécifiée, à la fréquence assignée, pour la charge de précision, ou la plus grande des charges de précision lorsque le transformateur en comporte plusieurs, pour un facteur de puissance compris entre 0,8 (circuit inductif) et l'unité, ne doit pas dépasser la valeur appropriée donnée au tableau 3.

La tension à appliquer au transformateur doit être celle indiquée à l'alinéa correspondant aux points a), b) ou c) ci-après:

a) Tous les transformateurs de tension, quels que soient leur facteur de tension et leur durée assignée doivent être essayés à 1,2 fois la tension primaire assignée.

Si une valeur de puissance thermique limite est spécifiée, le transformateur doit être soumis à un essai à la tension primaire assignée, avec une charge correspondant à la puissance thermique limite absorbée à un facteur de puissance égal à 1. L'enroulement de tension résiduelle, lorsqu'il existe, ne doit pas être chargé.

Si une puissance thermique limite est spécifiée pour un ou plusieurs enroulements secondaires, le transformateur doit être essayé séparément en connectant chacun de ces enroulements, un à la fois, à une charge correspondant à sa puissance thermique limite avec un facteur de puissance de 1.

L'essai doit être continué jusqu'à ce que la température du transformateur atteigne un état stable.

b) Les transformateurs ayant un facteur de tension de 1,5 pendant 30 s ou de 1,9 pendant 30 s doivent être essayés à leur facteur de tension respectif pendant 30 s comptées après l'application de 1,2 fois la tension assignée effectuée pendant une durée suffisante pour atteindre des conditions thermiques stables; l'échauffement ne doit pas alors dépasser de plus de 10 K la valeur spécifiée au tableau 3.

En variante, de tels transformateurs peuvent être essayés à leur facteur de tension respectif pendant 30 s en partant de l'état froid; l'échauffement des enroulements ne doit pas alors dépasser 10 K.

NOTE – Cet essai peut être omis s'il peut être prouvé par d'autres moyens que le transformateur est satisfaisant dans ces conditions.

c) Les transformateurs ayant un facteur de tension de 1,9 pendant 8 h doivent être essayés à 1,9 fois la tension assignée pendant 8 h comptées après l'application de 1,2 fois la tension assignée effectuée pendant une durée suffisante pour atteindre des conditions thermiques stables; l'échauffement ne doit pas alors dépasser de plus de 10 K la valeur spécifiée au tableau 3.

Les valeurs du tableau 3 sont basées sur les conditions de service énoncées à l'article 4.

Si des températures de l'air ambiant, supérieures à celles indiquées en 4.1 ont été spécifiées, les limites d'échauffement du tableau 3 doivent être réduites d'une quantité égale à l'excédent de la température ambiante.

Si un transformateur est prévu pour fonctionner à une altitude supérieure à 1000 m et est essayé à une altitude inférieure à 1000 m, les limites d'échauffement données au tableau 3 doivent être réduites des quantités suivantes par 100 m de différence entre l'altitude du lieu d'installation et 1000 m:

- a) transformateurs immergés dans l'huile 0,4 %;
- b) transformateurs du type sec 0,5 %.

L'échauffement des enroulements est limité par la classe d'isolation la plus basse soit de l'enroulement lui-même, soit de la matière environnante dans laquelle il est immergé. Les limites d'échauffement des différentes classes d'isolation sont données dans le tableau 3.

**Tableau 3 – Limites d'échauffement des enroulements**

Classe d'isolation (conformément à la CEI 85)	Limites d'échauffement K
Toutes les classes, les enroulements étant immergés dans l'huile	60
Toutes les classes, les enroulements étant immergés dans l'huile et hermétiquement scellés	65
Toutes les classes, les enroulements étant noyés dans une masse isolante bitumineuse	50
Enroulements, non immergés dans l'huile ni noyés dans une masse bitumineuse, des classes suivantes:	
Y	45
A	60
E	75
B	85
F	110
H	135
NOTE – Pour quelques matières, par exemple les résines, il convient que le constructeur spécifie la classe à laquelle elles appartiennent.	

Si le transformateur est muni d'un conservateur d'huile ou si l'huile est surmontée d'un gaz inerte ou si la cuve est scellée hermétiquement, l'échauffement de l'huile, mesuré à la partie supérieure de la cuve ou de l'enveloppe, ne doit pas dépasser 55 K.

Si le transformateur ne possède pas de telles dispositions, l'échauffement de l'huile, mesuré à la partie supérieure de la cuve ou de l'enveloppe, ne doit pas dépasser 50 K.

L'échauffement, mesuré à leur surface, du circuit magnétique et des autres parties métalliques en contact avec les enroulements ou des isolants, ou à leur voisinage immédiat, ne doit pas dépasser la valeur appropriée du tableau 3.

## 6 Prescriptions relatives à la conception

### 6.1 Prescriptions relatives à l'isolement

Les présentes prescriptions s'appliquent à tous les types de transformateurs de tension inductifs. Des prescriptions complémentaires (à l'étude) peuvent être nécessaires pour les transformateurs de tension inductifs à isolation gazeuse.



**6.1.1 Niveaux d'isolement assignés pour les enroulements primaires**

Le niveau d'isolement assigné de l'enroulement primaire d'un transformateur de tension inductif doit être basé sur sa tension la plus élevée pour le matériel  $U_m$ .

6.1.1.1 Dans le cas des enroulements de tension la plus élevée pour le matériel  $U_m$  égale à 0,72 kV ou 1,2 kV, le niveau d'isolement assigné est déterminé par la tension de tenue assignée à fréquence industrielle conformément au tableau 4.

6.1.1.2 Dans le cas des enroulements de tension la plus élevée pour le matériel  $U_m$  égale ou supérieure à 3,6 kV mais inférieure à 300 kV, le niveau d'isolement assigné est déterminé par les tensions de tenue assignées au choc de foudre et à fréquence industrielle et doit être choisi conformément au tableau 4.

En ce qui concerne le choix entre les différents niveaux pour la même valeur de  $U_m$ , voir la CEI 71-1.

6.1.1.3 Dans le cas des enroulements de tension la plus élevée pour le matériel  $U_m$  égale ou supérieure à 300 kV, le niveau d'isolement assigné est déterminé par les tensions de tenue assignées au choc de manoeuvre et au choc de foudre et doit être choisi conformément au tableau 5.

En ce qui concerne le choix entre les différents niveaux pour la même valeur de  $U_m$ , voir la CEI 71-1.

**Tableau 4 – Niveaux d'isolement assignés pour les enroulements primaires de transformateur avec une tension la plus élevée pour le matériel  $U_m$  inférieure à 300 kV**

Tension la plus élevée pour le matériel $U_m$ (valeur efficace) kV	Tension de tenue assignée à fréquence industrielle (valeur efficace) kV	Tension de tenue assignée au choc de foudre (valeur de crête) kV
0,72	3	---
1,2	6	---
3,6	10	20 40
7,2	20	40 60
12	28	60 75
17,5	38	75 95
24	50	95 125
36	70	145 170
52	95	250
72,5	140	325
100	185	450
123	185	450
	230	550
145	230	550
	275	650
170	275	650
	325	750
245	395	950
	460	1050
NOTE – Dans le cas d'installations exposées, il est recommandé de choisir les niveaux d'isolement les plus élevés.		

**Tableau 5 – Niveaux d'isolement assignés pour les enroulements primaires de transformateur avec une tension la plus élevée pour le matériel  $U_m$  égale ou supérieure à 300 kV**

Tension la plus élevée pour le matériel $U_m$ (valeur efficace) kV	Tension de tenue assignée au choc de manoeuvre (valeur de crête) kV	Tension de tenue assignée au choc de foudre (valeur de crête) kV
300	750 850	950 1050
362	850 950	1050 1175
420	<b>950</b> 1050	1300 1425
525	1150 1175	1425 1550
765	1425 1550	1950 2100

NOTES

1 Dans le cas d'installations exposées, il est recommandé de choisir les niveaux d'isolement les plus élevés.

2 Du fait que les niveaux de tension d'essai pour  $U_m = 765$  kV n'ont pas encore été décidés définitivement, des changements dans les niveaux d'essai au choc de manoeuvre et au choc de foudre peuvent devenir nécessaires.

**Tableau 6 – Tensions de tenue à fréquence industrielle pour les enroulements primaires de transformateurs avec une tension la plus élevée pour le matériel  $U_m$  égale ou supérieure à 300 kV**

Tension de tenue assignée au choc de foudre (valeur de crête) kV	Tension de tenue assignée à fréquence industrielle (valeur efficace) kV
950	395
1 050	460
1175	510
1300	570
1425	630
1550	680
1950	880
2100	975

### 6.1.2 Autres prescriptions pour l'isolement des enroulements primaires

#### 6.1.2.1 Tension de tenue à fréquence industrielle

Les enroulements de tension la plus élevée pour le matériel  $U_m$  égale ou supérieure à 300 kV doivent, conformément au tableau 6, supporter la tension de tenue à fréquence industrielle correspondant à la tension de tenue au choc de foudre choisie.

#### 6.1.2.2 Tension de tenue à fréquence industrielle de la borne mise à la terre

La borne de l'enroulement primaire destinée à être mise à la terre doit, lorsqu'elle est isolée de la cuve ou du châssis, être capable de supporter la tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle de 3 kV (valeur efficace).

**6.1.2.3 Décharges partielles**

Les prescriptions relatives aux décharges partielles sont applicables aux transformateurs de tension inductifs avec une tension la plus élevée pour le matériel  $U_m$  égale ou supérieure à 7,2 kV.

Les niveaux de décharges partielles ne doivent pas dépasser les limites spécifiées par le tableau 7, pour les tensions d'essai de décharges partielles spécifiées par ce même tableau, après l'application d'une précontrainte conformément aux procédures de 9.2.4.

**6.1.2.4 Choc de foudre coupé**

Si cela est spécifié en complément, l'enroulement primaire doit aussi pouvoir supporter une tension de choc de foudre coupé d'une valeur de crête égale à 115 % de celle de la tension de choc de foudre plein.

NOTE – Des valeurs plus faibles de tension d'essai peuvent être convenues entre constructeur et acheteur.

**Tableau 7 – Tensions d'essai de décharges partielles et niveaux admissibles**

Type de mise à la terre du réseau	Raccordement de l'enroulement primaire	Tension d'essai de décharges partielles (Valeur efficace) kV	Niveau admissible de décharges partielles pC	
			Type d'isolation	
			immergée dans un liquide	solide
Réseau à neutre mis à la terre (facteur de défaut à la terre $\leq 1,5$ )	Entre phase	$U_m$	10	50
	et terre	$1,2 U_m / \sqrt{3}$	5	20
	Entre phases	$1,2 U_m$	5	20
Réseau à neutre isolé ou non effectivement mis à la terre (facteur de défaut à la terre $> 1,5$ )	Entre phase	$1,2 U_m$	10	50
	et terre	$1,2 U_m / \sqrt{3}$	5	20
	Entre phases	$1,2 U_m$	5	20
<b>NOTES</b> 1 Si le système de neutre n'est pas défini, les valeurs indiquées pour les réseaux à neutre isolé ou non effectivement mis à la terre sont valables. 2 Le niveau admissible de décharges partielles est aussi valable pour des fréquences différentes de la fréquence assignée. 3 Lorsque la tension assignée d'un transformateur de tension est beaucoup plus faible que sa valeur déclarée de tension la plus élevée pour le matériel $U_m$ , des tensions de précontrainte et de mesure plus faibles peuvent être convenues entre constructeur et acheteur.				

**6.1.2.5 Capacité et facteur de dissipation diélectrique**

Ces prescriptions s'appliquent seulement aux transformateurs comportant une isolation de l'enroulement primaire immergée dans un liquide et de tension la plus élevée pour le matériel  $U_m$  égale ou supérieure à 72,5 kV.

Les valeurs de la capacité et du facteur de dissipation diélectrique ( $\tan \delta$ ) doivent se référer à la fréquence assignée et à un niveau de tension dans la plage de 10 kV à  $U_m / \sqrt{3}$ .

## NOTES

- 1 Le but est de contrôler l'uniformité de la fabrication. Les limites des variations admissibles peuvent être l'objet d'un accord entre constructeur et acheteur.
- 2 Le facteur de dissipation diélectrique dépend de la conception de l'isolation et à la fois de la tension et de la température. Sa valeur à  $U_m/\sqrt{3}$  et à la température ambiante ne doit normalement pas dépasser 0,005.
- 3 Pour certains types de conception de transformateur, l'interprétation des résultats peut être difficile à établir.

### 6.1.3 Prescriptions d'isolement entre sections

Dans le cas d'enroulements secondaires divisés en deux sections ou plus, la tension de tenue assignée à fréquence industrielle de l'isolation entre sections doit être de 3 kV (valeur efficace).

### 6.1.4 Prescriptions d'isolement pour les enroulements secondaires

La tension de tenue assignée à fréquence industrielle des enroulements secondaires doit être de 3 kV (valeur efficace).

### 6.1.5 Prescriptions pour l'isolation externe

#### 6.1.5.1 Pollution

Dans le cas des transformateurs de tension inductifs pour l'extérieur, avec des isolateurs en céramique, susceptibles de pollution, les lignes de fuite pour des niveaux de pollution donnés sont indiqués au tableau 8.

**Tableau 8 – Longueurs de la ligne de fuite**

Niveau de pollution	Valeur nominale minimale de la ligne de fuite spécifique mm/kV <sup>1) 2)</sup>	<u>Ligne de fuite</u> Distance d'arc
I	16	≤ 3,5
II	20	
III	25	≤ 4,0
IV	31	
<sup>1)</sup> Rapport de la ligne de fuite entre phase et terre à la valeur efficace entre phases de la tension la plus élevée pour le matériel (voir CEI 71-1). <sup>2)</sup> Pour d'autres informations et pour les tolérances de fabrication sur la ligne de fuite, voir CEI 815.		
<b>NOTES</b> 1 Il est reconnu que les performances de l'isolation de surface sont fortement affectées par la forme de l'isolateur. 2 Dans les régions très légèrement polluées, des lignes de fuite spécifique nominales inférieures à 16 mm/kV peuvent être utilisées en fonction de l'expérience acquise en service. La valeur de 12 mm/kV semble être une limite inférieure. 3 Dans des cas de sévérité de pollution exceptionnelle, une ligne de fuite spécifique nominale de 31 mm/kV peut s'avérer insuffisante. En fonction de l'expérience acquise en service et/ou des résultats d'essai en laboratoire, une valeur plus élevée de la ligne de fuite spécifique peut être utilisée mais, dans certains cas, l'utilisation du lavage peut être envisagée.		

## 6.2 Tenue au court-circuit

Le transformateur de tension doit être conçu et réalisé de manière à supporter sans dommage, quant il est alimenté sous sa tension assignée, les effets mécaniques et thermiques d'un court-circuit externe pendant 1 s.

### 6.3 Prescriptions mécaniques

Les présentes prescriptions s'appliquent seulement aux transformateurs de tension inductifs avec une tension la plus élevée pour le matériel égale ou supérieure à 72,5 kV.

Le tableau 9 donne des informations sur les charges statiques que les transformateurs de tension inductifs doivent pouvoir supporter. Les valeurs comprennent les charges dues au vent et à la glace.

Les charges d'essai spécifiées sont destinées à être appliquées sur les bornes primaires, dans toutes les directions.

**Tableau 9 – Charges d'essai de tenue statique**

Tension la plus élevée pour le matériel $U_m$ kV	Charge d'essai de tenue statique $F_R$ $N$		
	Transformateurs de tension avec bornes de type:		
	tension	courant traversant	
		Charge classe I	Charge classe II
72,5 à 100	500	1250	2500
123 à 170	1000	2000	3000
245 à 362	1250	2500	4000
≥ 420	1500	4000	5000
<p><b>NOTES</b></p> <p>1 Il convient que la somme des charges effectives dans les conditions de fonctionnement habituelles ne dépasse pas 50 % de la charge d'essai de tenue spécifiée.</p> <p>2 Dans certaines applications, il convient que les transformateurs de tension avec bornes de type courant traversant supportent des charges dynamiques extrêmes se produisant rarement (par exemple lors de courts-circuits) ne dépassant pas 1,4 fois la charge d'essai de tenue statique.</p> <p>3 Pour certaines applications, il peut être nécessaire d'établir la résistance des bornes primaires à la rotation. Le moment à appliquer pendant l'essai doit être convenu entre constructeur et acheteur.</p>			

## 7 Classification des essais

Les essais spécifiés dans la présente norme sont classés en essais de type, essais individuels et essais spéciaux.

### Essai de type

Essai effectué sur un transformateur de chaque type pour apporter la preuve que tous les transformateurs construits suivant la même spécification répondent aux exigences non couvertes par les essais individuels.

NOTE – Un essai de type peut également être considéré comme valable s'il est exécuté sur un transformateur qui présente des différences mineures. Il convient que de telles différences fassent l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

Essai individuel

Essai auquel est soumis individuellement chaque transformateur.

Essai spécial

Essai autre qu'un essai de type ou un essai individuel, dont le constructeur et l'acheteur sont convenus.

### **7.1 Essais de type**

Les essais suivants sont des essais de type; pour les détails il convient de se reporter aux articles appropriés:

- a) Essai d'échauffement (voir 8.1);
- b) Essai de tenue au court-circuit (voir 8.2);
- c) Essai au choc de foudre (voir 8.3.2);
- d) Essai au choc de manoeuvre (voir 8.3.3);
- e) Essai sous pluie pour les transformateurs de type extérieur (voir 8.4);
- f) Détermination des erreurs (voir 12.3 et 13.6.2).

Tous les essais diélectriques de type doivent être effectués sur le même transformateur, sauf spécification contraire.

Après que les transformateurs aient été soumis aux essais diélectriques de type de 7.1, ils doivent être soumis à tous les essais individuels de 7.2.

### **7.2 Essais individuels**

Les essais suivants s'appliquent à chaque transformateur individuel:

- a) Vérification du marquage des bornes (voir 9.1);
- b) Essais de tenue à fréquence industrielle sur l'enroulement primaire (voir 9.2);
- c) Mesure des décharges partielles (voir 9.2.4);
- d) Essais de tenue à fréquence industrielle sur les enroulements secondaires (voir 9.3);
- e) Essais de tenue à fréquence industrielle entre sections (voir article 9.3);
- f) Détermination des erreurs (voir 12.4 et 13.7).

L'ordre des essais n'est pas normalisé mais la détermination des erreurs doit être effectuée après les autres essais.

Il convient que les essais répétés à fréquence industrielle sur les enroulements primaires soient effectués à 80 % de la tension d'essai spécifiée.

### **7.3 Essais spéciaux**

Les essais suivants doivent être effectués selon accord entre constructeur et acheteur:

- a) Essai au choc de foudre coupé (voir 10.1);
- b) Mesure de la capacité et du facteur de dissipation diélectrique (voir 10.2);
- c) Essais mécaniques (voir 10.3).

## **8 Essais de type**

### **8.1 Essai d'échauffement**

Un essai doit être fait pour vérifier la conformité aux prescriptions de 5.4. Pour les besoins de cet essai, on admet que le transformateur a atteint sa température de régime lorsque l'échauffement mesuré n'augmente plus d'une quantité supérieure à 1 K par heure. La température de l'air ambiant au lieu d'exécution de l'essai doit être comprise entre 10 °C et 30 °C.

Lorsqu'il existe plus d'un enroulement secondaire, l'essai doit être fait aux valeurs extrêmes de la charge, à moins qu'il n'en soit convenu différemment entre le constructeur et l'acheteur. L'enroulement de tension résiduelle doit être chargé en accord avec 13.6.1 ou 5.4.

Pour cet essai, le transformateur doit être monté d'une manière analogue au montage en service.

L'échauffement des enroulements doit être déterminé par la méthode de variation de résistance.

L'échauffement des parties autres que les enroulements peut être mesuré au moyen de thermomètres ou de couples thermoélectriques.

### **8.2 Essai de tenue au court-circuit**

Cet essai doit être effectué pour apporter la preuve de la conformité à la prescription de 6.2.

Pour cet essai, la température initiale du transformateur doit être comprise entre 10 °C et 30 °C.

Le transformateur de tension est alimenté par le primaire et le court-circuit provoqué aux bornes du secondaire.

Un seul court-circuit est provoqué pendant une durée de 1 s.

NOTE – Cette spécification s'applique également lorsque des fusibles font partie intégrante du transformateur.

Pendant le court-circuit, la valeur efficace de la tension appliquée aux bornes du transformateur ne doit pas être inférieure à la tension assignée.

Si le transformateur comporte plusieurs enroulements secondaires, plusieurs sections d'enroulement secondaire ou un enroulement secondaire à prises, les connexions pour l'essai doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

NOTE – Pour les transformateurs du type inductif, l'essai peut être effectué en excitant l'enroulement secondaire et en établissant le court-circuit entre les bornes primaires.

On estime que le transformateur a satisfait à l'essai si, après refroidissement à la température ambiante, il répond aux prescriptions suivantes:

- a) il n'est pas endommagé de façon visible;
- b) ses erreurs ne diffèrent pas des valeurs consignées avant l'essai de plus de la moitié des valeurs limites d'erreur correspondant à sa classe de précision;
- c) il supporte les essais diélectriques spécifiés en 9.2 et 9.3, mais sous une tension d'essai réduite à 90 % des valeurs indiquées;



d) à l'examen, l'isolation à proximité de la surface des enroulements primaire et secondaire ne présente pas de détérioration significative (carbonisation, par exemple).

L'examen d) n'est pas exigé si la densité de courant de l'enroulement ne dépasse pas  $160 \text{ A/mm}^2$  pour un enroulement réalisé en cuivre de conductivité supérieure ou égale à 97 % de la valeur donnée dans la CEI 28. La densité de courant se calcule sur la base de la valeur efficace mesurée du courant de court-circuit symétrique de l'enroulement secondaire (divisée par le rapport de transformation dans le cas de l'enroulement primaire).

### **8.3 Essai au choc sur l'enroulement primaire**

#### **8.3.1 Généralités**

L'essai au choc doit être effectué conformément à la CEI 60-1.

La tension d'essai doit être appliquée entre chaque borne de ligne de l'enroulement primaire et la terre. La borne de terre de l'enroulement primaire ou la borne de ligne non essayée dans le cas d'un transformateur de tension non mis à la terre, au moins une borne de chaque enroulement secondaire, le châssis, la cuve (s'il y a lieu) et le noyau (s'il est prévu de le mettre à la terre) doivent être reliés à la terre pendant l'essai.

Les essais au choc consistent généralement à appliquer la tension successivement au niveau de tension de référence, puis au niveau assigné. La tension de choc de référence doit être comprise entre 50 % et 75 % de la tension de tenue assignée au choc. La valeur de crête et la forme d'onde du choc doivent être enregistrées.

Une défaillance de l'isolation par suite de l'essai peut être mise en évidence par la variation de la forme d'onde entre la tension de référence et la tension de tenue assignée.

Pour la détection des défaillances, l'enregistrement du ou des courants de terre ou des tensions apparaissant dans l'enroulement ou les enroulements secondaires, doit être effectué en complément à l'enregistrement de la tension.

NOTE – Les connexions à la terre peuvent être faites par l'intermédiaire de dispositifs d'enregistrement adaptés.

#### **8.3.2 Essai au choc de foudre**

La tension d'essai doit avoir la valeur appropriée indiquée par les tableaux 4 ou 5, en fonction de la tension la plus élevée pour le matériel et du niveau d'isolement spécifié.

##### **8.3.2.1 Enroulements avec $U_m$ inférieure à 300 kV**

L'essai doit être effectué à la fois en polarité positive et en polarité négative. Quinze chocs consécutifs de chaque polarité doivent être appliqués, sans correction pour conditions atmosphériques.

Le transformateur a satisfait à l'essai si pour chaque polarité:

- aucune décharge disruptive ne se produit dans l'isolation interne non autorégénératrice;
- aucun contournement ne se produit le long de l'isolation externe non autorégénératrice;
- deux contournements au maximum se produisent à travers l'isolation externe autorégénératrice;
- aucune autre manifestation d'une défaillance de l'isolation n'est détectée (par exemple variations dans la forme d'onde des grandeurs enregistrées).

Dans le cas des transformateurs de tension non mis à la terre, environ la moitié du nombre de chocs doit être appliquée successivement à chaque borne de ligne, l'autre borne de ligne étant reliée à la terre.

NOTE – L'application de 15 chocs positifs et de 15 chocs négatifs est spécifiée pour essayer l'isolation externe. Si d'autres essais sont convenus entre constructeur et acheteur pour contrôler l'isolation externe, le nombre de chocs de foudre peut être réduit à trois de chaque polarité, sans correction pour conditions atmosphériques.

### **8.3.2.2 Enroulements avec $U_m$ égale ou supérieure à 300 kV**

L'essai doit être effectué à la fois en polarité positive et en polarité négative. Trois chocs consécutifs de chaque polarité doivent être appliqués, sans correction pour conditions atmosphériques.

Le transformateur a satisfait à l'essai si:

- aucune décharge disruptive ne se produit;
- aucune autre manifestation d'une défaillance de l'isolation n'est détectée (par exemple variations dans la forme d'onde des grandeurs enregistrées).

### **8.3.3 Essai au choc de manoeuvre**

La tension d'essai doit avoir la valeur appropriée, indiquée par le tableau 5, en fonction de la tension la plus élevée pour le matériel et du niveau d'isolement spécifié.

L'essai doit être effectué en polarité positive. Quinze chocs consécutifs doivent être appliqués, avec correction pour conditions atmosphériques.

Pour les transformateurs de type extérieur, l'essai doit être effectué sous des conditions de pluie (voir 8.4).

NOTE – Pour s'affranchir de l'effet de la saturation du noyau, la modification des conditions magnétiques du noyau est autorisée entre les chocs successifs, à l'aide d'une procédure appropriée.

Le transformateur a satisfait à l'essai si:

- aucune décharge disruptive ne se produit dans l'isolation interne non autorégénératrice;
- aucun contournement ne se produit le long de l'isolation externe non autorégénératrice;
- deux contournements au maximum se produisent à travers l'isolation externe autorégénératrice;
- aucune autre manifestation d'une défaillance de l'isolation n'est détectée (par exemple variations dans la forme d'onde des grandeurs enregistrées).

NOTE – Il ne doit pas être tenu compte des chocs avec des contournements aux murs ou au plafond du laboratoire.

## **8.4 Essai sous pluie pour les transformateurs du type extérieur**

Les modalités de l'essai sous pluie doivent être conformes à la CEI 60-1.

Dans le cas des enroulements avec une tension la plus élevée pour le matériel  $U_m$  inférieure à 300 kV, l'essai doit être effectué avec une tension à fréquence industrielle de la valeur appropriée, indiquée par le tableau 4 en fonction de la tension la plus élevée pour le matériel, en appliquant des corrections pour conditions atmosphériques.

Dans le cas des enroulements avec une tension la plus élevée pour le matériel  $U_m$  égale ou supérieure à 300 kV, l'essai doit être effectué avec une tension de choc de manoeuvre de polarité positive, de la valeur appropriée indiquée par le tableau 5, en fonction de la tension la plus élevée pour le matériel et du niveau d'isolement assigné.

## 9 Essais individuels

### 9.1 Vérification du marquage des bornes

On doit vérifier que le marquage des bornes est correct (voir 11.2).

### 9.2 Essais de tenue à fréquence industrielle sur les enroulements primaires et mesure des décharges partielles

#### 9.2.1 Généralités

L'essai de tenue à fréquence industrielle doit être effectué conformément à la CEI 60-1.

Dans le cas des essais de tenue à une tension appliquée, la durée doit être de 60 s.

Dans le cas des essais de tenue à une tension induite, la fréquence de la tension d'essai peut être augmentée au-dessus de la valeur assignée afin d'éviter la saturation du noyau. La durée de l'essai doit être de 60 s. Toutefois, si la fréquence d'essai dépasse deux fois la fréquence assignée, la durée de l'essai peut être inférieure à 60 s comme suit:

$$\text{durée de l'essai (en s)} = \frac{(\text{deux fois la fréquence assignée})}{\text{fréquence d'essai}} \times 60$$

avec un minimum de 15 s.

#### 9.2.2 Enroulements avec $U_m$ inférieure à 300 kV

La tension d'essai pour les enroulements avec  $U_m$  inférieure à 300 kV doit avoir la valeur appropriée indiquée par le tableau 4 en fonction de la tension la plus élevée pour le matériel.

Lorsqu'il y a une différence importante entre la tension la plus élevée pour le matériel ( $U_m$ ) spécifiée et la tension primaire assignée spécifiée, la tension induite doit être limitée à cinq fois la tension primaire assignée.

##### 9.2.2.1 Transformateurs de tension non mis à la terre

Les transformateurs de tension non mis à la terre doivent être soumis aux essais suivants:

a) Essai de tenue à une tension appliquée

La tension d'essai doit être appliquée entre la terre et toutes les bornes de l'enroulement primaire connectées entre elles. Le châssis, la cuve (s'il y a lieu), le noyau (s'il y a une borne spéciale de mise à la terre) et toutes les bornes d'enroulement secondaire doivent être reliés ensemble et à la terre.

b) Essai de tenue à une tension induite

Au choix du constructeur, l'essai doit être fait en excitant l'enroulement secondaire par une tension d'amplitude suffisante pour induire dans l'enroulement primaire la tension d'essai spécifiée, ou en excitant directement l'enroulement primaire à la tension d'essai spécifiée.

La tension d'essai doit être mesurée du côté haute tension dans chacun des cas. Le châssis, la cuve (s'il y a lieu), le noyau (s'il est destiné à être mis à la terre), une borne de chaque enroulement secondaire et l'autre borne de l'enroulement primaire doivent être reliés ensemble et à la terre.

Il convient que l'essai soit effectué par des applications de la tension d'essai à chaque borne de ligne pendant la moitié du temps prescrit, avec un minimum de 15 s pour chaque borne.

##### 9.2.2.2 Transformateurs de tension mis à la terre

Les transformateurs de tension mis à la terre doivent être soumis aux essais suivants:

a) Essai de tenue à une tension appliquée (si applicable)

La tension d'essai doit avoir la valeur appropriée indiquée en 6.1.2.2 et doit être appliquée entre la terre et la borne de l'enroulement primaire destinée à être mise à la terre.

Le châssis, la cuve (s'il y a lieu), le noyau (s'il est destiné à être mis à la terre) et toutes les bornes d'enroulement secondaire doivent être reliés ensemble et à la terre.

b) Essai de tenue à une tension induite

L'essai doit être effectué comme spécifié en 9.2.2.1. La borne de l'enroulement primaire destinée à être mise à la terre en service doit être mise à la terre pendant l'essai.

### 9.2.3 Enroulements avec $U_m$ égale ou supérieure à 300 kV

Les transformateurs doivent être soumis aux essais suivants:

a) Essai de tenue à une tension appliquée (si applicable)

La tension d'essai doit avoir la valeur appropriée indiquée en 6.1.2.2 et l'essai doit être effectué comme spécifié en 9.2.2.2;

b) Essai de tenue à une tension induite

La tension d'essai doit avoir la valeur appropriée indiquée par le tableau 6, en fonction de la tension de tenue assignée au choc de foudre. L'essai doit être effectué comme spécifié en 9.2.2.2.

### 9.2.4 Mesure des décharges partielles

#### 9.2.4.1 Circuit d'essai et appareils de mesure

Le circuit d'essai et les appareils de mesure utilisés doivent être conformes à la CEI 270. Des exemples de circuit d'essai sont indiqués par les figures 2 à 5.

L'appareil de mesure utilisé doit mesurer la charge apparente  $q$  exprimée en picocoulombs (pC). Son étalonnage doit être effectué dans le circuit d'essai (voir un exemple en figure 5).

Un appareil de mesure à bande large doit avoir une bande passante d'au moins 100 kHz avec une fréquence de coupure supérieure ne dépassant pas 1,2 MHz.

Des appareils de mesure à bande étroite doivent avoir leur fréquence de résonance dans la gamme de 0,15 MHz à 2 MHz. Il convient que les valeurs préférentielles soient dans la gamme de 0,5 MHz à 2 MHz, mais, si cela est réalisable, il convient que la mesure soit effectuée à la fréquence qui donne la sensibilité maximale.

La sensibilité doit permettre de détecter un niveau de décharges partielles de 5 pC.

#### NOTES

1 Le bruit doit être suffisamment plus bas que la sensibilité. Il est possible de ne pas tenir compte des impulsions connues pour être causées par des perturbations extérieures.

2 Pour la suppression du bruit extérieur, le circuit d'essai équilibré (figure 4) est approprié. L'utilisation d'un condensateur couplé pour équilibrer le circuit peut être impropre à l'élimination d'une interférence externe.

3 Lorsqu'un traitement et une extraction électroniques de signal sont utilisés pour réduire le bruit de fond, ceci doit être démontré en faisant varier ses paramètres de telle sorte qu'il permette la détection d'impulsions se produisant de façon répétée.

#### 9.2.4.2 Procédure d'essai des transformateurs de tension mis à la terre

Après une précontrainte effectuée selon la procédure A ou B, les tensions d'essai de décharges partielles spécifiées par le tableau 7 sont atteintes et les niveaux de décharges partielles sont mesurés dans un temps de 30 s.

Les décharges partielles mesurées ne doivent pas dépasser les limites spécifiées par le tableau 7.

Procédure A: les tensions d'essai de décharges partielles sont atteintes pendant la décroissance de la tension après l'essai de tenue à une tension induite.

Procédure B: l'essai de décharges partielles est effectué après l'essai de tenue à une tension induite. La tension appliquée est augmentée jusqu'à 80 % de la tension de tenue à une tension induite, maintenue pendant au moins 60 s, puis réduite sans interruption jusqu'aux tensions spécifiées d'essai de décharges partielles.

Sauf spécification contraire, le choix de la procédure est laissée au constructeur. La méthode d'essai utilisée doit être indiquée dans le rapport d'essai.

#### 9.2.4.3 *Procédure d'essai des transformateurs de tension non mis à la terre*

Le circuit d'essai pour les transformateurs de tension non mis à la terre doit être le même que pour les transformateurs de tension mis à la terre mais deux essais doivent être effectués en appliquant les tensions successivement à chacune des bornes haute tension avec l'autre borne haute tension connectée à une borne basse tension, le châssis et la cuve (s'il y a lieu) (voir figures 2 à 4).

### **9.3 Essais de tenue à fréquence industrielle entre sections et sur les enroulements secondaires**

La tension d'essai, avec la valeur appropriée indiquée respectivement en 6.1.3 et 6.1.4, doit être appliquée pendant 60 s successivement, entre les bornes mises en court-circuit de chaque section d'enroulement, ou de chaque enroulement secondaire, et la terre.

Le châssis, la cuve (s'il y a lieu), le noyau (s'il est destiné à être mis à la terre) et les bornes de tous les autres enroulements ou sections doivent être reliés ensemble et à la terre.

## **10 Essais spéciaux**

### **10.1 Essai au choc coupé sur l'enroulement primaire**

L'essai doit être effectué en polarité négative seulement et combiné avec l'essai au choc de foudre de polarité négative de la façon indiquée ci-après.

La tension doit être un choc de foudre normalisé comme défini dans la CEI 60-1, coupé entre 2  $\mu$ s à 5  $\mu$ s. Le circuit de coupure doit être tel que l'amplitude de l'oscillation de polarité opposée du choc enregistré soit limitée à environ 30 % de la valeur de crête.

La tension d'essai des chocs pleins doit avoir la valeur appropriée, indiquée par les tableaux 4 ou 5, en fonction de la tension la plus élevée pour le matériel et du niveau d'isolement spécifié.

La tension d'essai des chocs coupés doit être conforme à 6.1.2.4.

La séquence d'application des chocs doit être la suivante:

a) pour les enroulements avec  $U_m$  inférieure à 300 kV:

- un choc plein;
- deux chocs coupés;
- quatorze chocs pleins.

Dans le cas des transformateurs de tension non mis à la terre, deux chocs coupés et environ la moitié du nombre de chocs pleins doivent être appliqués à chaque borne,

b) pour les enroulements avec  $U_m$  égale ou supérieure à 300 kV:

- un choc plein;
- deux chocs coupés;
- deux chocs pleins.

Des différences dans la forme de l'onde en onde pleine avant et après les chocs coupés sont une indication de défaut interne.

Des contournements pendant les chocs coupés le long de l'isolation externe autorégénératrice doivent être négligés dans l'évaluation du comportement de l'isolation.

## **10.2 Mesure de la capacité et du facteur de dissipation diélectrique**

L'essai doit être effectué conformément à 6.1.2.5, après l'essai de tenue à fréquence industrielle sur l'enroulement primaire.

Le circuit d'essai doit être convenu entre constructeur et acheteur, la méthode du pont étant la méthode préférentielle.

L'essai doit être effectué avec le transformateur de tension à la température ambiante et la valeur de cette température doit être enregistrée.

## **10.3 Essais mécaniques**

Les essais sont effectués pour démontrer qu'un transformateur de tension inductif est capable de satisfaire aux prescriptions spécifiées en 6.3.

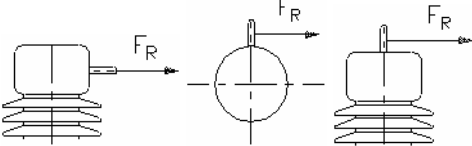
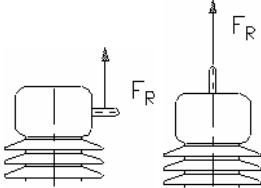
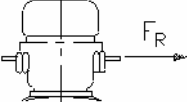
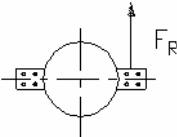
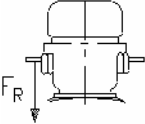
Le transformateur de tension doit être complètement monté et installé en position verticale, avec le châssis fixé de façon rigide.

Les transformateurs de tension immergés dans un liquide doivent être remplis avec le liquide isolant spécifié et soumis à la pression de fonctionnement.

Les charges d'essai doivent être appliquées pendant 60 s pour chacune des conditions indiquées au tableau 10.

Le transformateur de tension doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai si aucun dommage n'est apparent (déformation, rupture ou fuite).

Tableau 10 – Modalités d’application des charges d’essai aux bornes primaires de ligne

Type de transformateur de tension	Modalité d'application	
Avec borne type «tension»	Horizontale	
	Verticale	
Avec bornes type «courant traversant»	Horizontale à chaque borne	
		
	Verticale à chaque borne	
NOTE – La charge d’essai doit être appliquée au centre de la borne.		

11 Marquage

11.1 Marquage de la plaque signalétique

Tous les transformateurs de tension doivent porter au moins les indications suivantes:

- a) le nom du constructeur ou toute autre marque permettant de l'identifier facilement;
- b) le numéro de série ou la désignation de type, et de préférence les deux;
- c) les tensions assignées primaire et secondaire (par exemple 66/0,11 kV);
- d) la fréquence assignée (par exemple 50 Hz);
- e) la puissance de précision et la classe de précision correspondante (par exemple 50 VA, classe 1,0);

NOTE – Lorsqu'il existe deux enroulements secondaires séparés, il convient que les indications comportent la gamme de puissances de précision de chaque enroulement secondaire en voltampères, ainsi que la classe de précision correspondante et la tension assignée de chaque enroulement.

- f) la tension la plus élevée du réseau (par exemple 72,5 kV);
- g) le niveau d'isolement assigné (par exemple 140/325 kV).

NOTE – Les deux alinéas f) et g) peuvent être combinés en une indication unique (par exemple 72,5/140/325 kV).

Toutes ces indications doivent être marquées de manière indélébile sur le transformateur de tension lui-même ou sur une plaque signalétique fixée solidement au transformateur.

De plus, les indications suivantes doivent être données dans la mesure du possible lorsque l'emplacement disponible est suffisant:

- h) le facteur de tension assigné et la durée assignée correspondante;
- i) la classe des matières isolantes, si elle est différente de la classe A;

NOTE – S'il est fait usage de plusieurs classes de matières isolantes, il convient que celle qui limite l'échauffement des enroulements soit indiquée.

- j) pour les transformateurs ayant plus d'un enroulement secondaire, l'usage de chaque enroulement et les bornes correspondantes.

## **11.2 Marquage des bornes**

### **11.2.1 Règles générales**

Ce marquage s'applique aux transformateurs de tension monophasés, ainsi qu'aux ensembles de transformateurs de tension monophasés assemblés en un seul élément et reliés en transformateur de tension triphasé, ou aux transformateurs de tension triphasés qui ont un circuit magnétique commun pour les trois phases.

### **11.2.2 Désignation des bornes**

Le marquages préférentiels des bornes de transformateurs de tension à induction sont indiqués dans les figures 6 à 15, selon les cas.

Les lettres majuscules A, B, C et N désignent les bornes d'enroulement primaire et les lettres minuscules a, b, c et n désignent les bornes d'enroulement secondaire correspondantes.

Les lettres A, B et C désignent les bornes totalement isolées et la lettre N désigne la borne destinée à être mise à la terre et dont l'isolement est inférieur à celui de la ou des autres bornes.

Les lettres da et dn désignent les bornes des enroulements éventuels destinés à fournir une tension résiduelle.

### **11.2.3 Polarités relatives**

Les bornes dont les lettres majuscules et minuscules se correspondent doivent avoir la même polarité à un instant donné.

## **12 Prescriptions pour la précision des transformateurs inductifs de tension monophasés pour mesures**

### **12.1 Désignation de la classe de précision d'un transformateur de tension pour mesures**

Pour les transformateurs de tension pour mesure, la classe de précision est caractérisée par un nombre (indice de classe) égal à la limite admissible de l'erreur de tension, exprimée en pour-cent, pour la tension assignée primaire et la charge de précision.



**12.1.1 Classes de précision normales**

Les classes de précision normales pour les transformateurs inductifs de tension monophasés pour mesures sont:

$$0,1 - 0,2 - 0,5 - 1,0 - 3,0$$

**12.2 Limites de l'erreur de tension et du déphasage des transformateurs de tension pour mesures**

L'erreur de tension et le déphasage à la fréquence assignée ne doivent pas dépasser les valeurs du tableau 11 à toute tension comprise entre 80 % et 120 % de la tension assignée et pour toute charge comprise entre 25 % et 100 % de la charge de précision, sous un facteur de puissance de 0,8 inductif.

Les erreurs doivent être déterminées aux bornes du transformateur et elles doivent comprendre les effets des coupe-circuit ou des résistances faisant éventuellement partie du transformateur.

**Tableau 11 – Limites de l'erreur de tension et du déphasage transformateurs de tension pour mesures**

Classe	Erreur de tension (rapport) en pour-cent $\pm$	Déphasage $\pm$	
		Minutes	Centiradians
0,1	0,1	5	0,15
0,2	0,2	10	0,3
0,5	0,5	20	0,6
1,0	1,0	40	1,2
3,0	3,0	Pas spécifié	Pas spécifié

NOTE – Lors de la commande de transformateurs ayant deux enroulements secondaires distincts et en raison de leur interdépendance, il convient que l'utilisateur spécifie deux gammes de puissance, une pour chaque enroulement, la limite supérieure de chacune de ces gammes de puissance correspondant à une valeur normale de la puissance de précision. Il convient que chacun des enroulements satisfasse à ses propres prescriptions de précision dans toute sa gamme de puissance lorsqu'au même moment l'autre enroulement fournit une puissance de toute valeur comprise entre zéro et la limite supérieure de la gamme de puissance spécifiée pour ce dernier. Pour vérifier la conformité à cette prescription, il suffit de faire les essais aux valeurs extrêmes seulement. Si aucune spécification des gammes de puissance n'est donnée, celles-ci sont réputées être de 25 % à 100 % de la puissance assignée pour chaque enroulement.

Si l'un des enroulements n'est chargé qu'occasionnellement, pendant de courtes durées, ou s'il est utilisé pour créer une tension résiduelle, son effet sur les autres enroulements peut être négligé.

**12.3 Essais de type concernant la précision des transformateurs de tension pour mesures**

Pour vérifier la conformité aux prescriptions de 12.2, des essais de type doivent être effectués à 80 %, 100 % et 120 % de la tension assignée, à la fréquence assignée et à 25 % et 100 % de la charge de précision.

**12.4 Essais individuels concernant la précision des transformateurs de tension pour mesures**

Les essais individuels concernant la précision sont en principe les mêmes que les essais de type prescrits en 12.3, mais il est admis que les essais individuels puissent être faits à un nombre réduit de tensions et/ou de charges, à condition qu'il ait été montré, par des essais de type effectués sur un transformateur identique, que de tels essais en nombre réduit suffisent pour vérifier la conformité à 12.2.

### **12.5 Marquage de la plaque signalétique d'un transformateur de tension pour mesures**

La plaque signalétique doit porter les indications appropriées, conformément à 11.1.

La classe de précision doit être indiquée à la suite de l'indication de la puissance de précision (par exemple 100 VA, classe 0,5).

NOTE – La plaque signalétique peut comporter des indications concernant plusieurs combinaisons de puissances de précision et de classes de précision auxquelles le transformateur est capable de satisfaire.

## **13 Prescriptions complémentaires pour les transformateurs inductifs de tension monophasés pour protection**

### **13.1 Désignation de la classe de précision d'un transformateur de tension pour protection**

Tous les transformateurs de tension pour protection doivent également être d'une classe de précision de mesure définie conformément à 12.1 et 12.2. Cette exigence ne s'étend toutefois pas aux enroulements destinés à fournir une tension résiduelle. En plus, ils doivent être d'une des classes de précision prescrites en 13.1.1.

Cette classe particulière de précision d'un transformateur de tension pour protection est désignée par l'erreur maximale de tension, exprimée en pour cent, admissible entre 5 % de la tension assignée et la valeur de la tension correspondant au facteur de tension assigné (voir 5.3). Cette expression est suivie de la lettre P.

#### **13.1.1 Classes de précision normales**

Les classes de précision normales des transformateurs de tension pour protection sont 3P et 6P, et les mêmes limites d'erreur de tension et de déphasage sont normalement applicables aussi bien à 5 % de la tension assignée qu'à la tension correspondant au facteur de tension assigné. A 2 % de la tension assignée, les limites d'erreur sont portées au double de celles valables à 5 % de la tension assignée.

Lorsque les limites d'erreur d'un transformateur sont différentes à 5 % de la tension assignée et à la limite supérieure de la tension (c'est-à-dire à la tension correspondant au facteur de tension assigné 1,2, 1,5 ou 1,9), il convient qu'un accord intervienne entre le constructeur et l'utilisateur.

### **13.2 Limites de l'erreur de tension et du déphasage des transformateurs de tension pour protection**

L'erreur de tension et le déphasage à la fréquence assignée ne doivent pas dépasser les valeurs du tableau 12 à 5 % de la valeur assignée et au produit de la valeur assignée par le facteur de tension assigné (1,2, 1,5 ou 1,9) et pour toute charge comprise entre 25 % et 100 % de la charge assignée avec un facteur de puissance de 0,8 inductif.

A 2 % de la tension assignée, les limites de l'erreur de tension et du déphasage, pour toute charge comprise entre 25 % et 100 % de la charge assignée avec un facteur de puissance de 0,8 inductif, seront le double de celles indiquées au tableau 12.

**Tableau 12 – Limites de l'erreur de tension et du déphasage des transformateurs de tension pour protection**

Classe de précision	Erreur de tension (de rapport) en % + ou -	Déphasage + ou -	
		Minutes	Centiradians
3P	3,0	120	3,5
6P	6,0	240	7,0

NOTE – Lors de la commande de transformateurs ayant deux enroulements secondaires distincts et en raison de leur interdépendance, il convient que l'utilisateur spécifie deux gammes de puissance, une pour chaque enroulement, la limite supérieure de chacune de ces gammes de puissance correspondant à une valeur assignée normalisée de la puissance. Il convient que chacun des enroulements satisfasse à ses propres prescriptions de précision dans toute sa gamme de puissance, lorsqu'au même moment l'autre enroulement fournit une puissance de toute valeur comprise entre zéro et la limite supérieure de sa gamme de puissance. Pour vérifier la conformité à cette prescription, il suffit de faire les essais aux valeurs extrêmes seulement. Si aucune spécification des gammes de puissance n'est donnée, celles-ci sont réputées être de 25 % à 100 % de la puissance assignée pour chaque enroulement.

### 13.3 Tensions assignées de l'enroulement secondaire de tension résiduelle

Les tensions secondaires de l'enroulement destiné à être relié en triangle ouvert avec des enroulements semblables pour fournir une tension résiduelle sont données au tableau 13.

**Tableau 13 – Tensions assignées de l'enroulement secondaire de tension résiduelle**

Valeurs préférentielles V		Autres valeurs (non préférentielles) V
100	110	200
$\frac{100}{\sqrt{3}}$	$\frac{110}{\sqrt{3}}$	$\frac{200}{\sqrt{3}}$
$\frac{100}{3}$	$\frac{110}{3}$	$\frac{200}{3}$

NOTE – Lorsque les conditions sont telles que les valeurs préférentielles conduisent à une tension résiduelle trop faible, les valeurs non préférentielles peuvent être utilisées mais l'attention est attirée sur la nécessité de prendre des précautions concernant la sécurité.

### 13.4 Puissance de l'enroulement secondaire de tension résiduelle

#### 13.4.1 Puissance de précision

La puissance de précision de l'enroulement destiné à être relié en triangle ouvert avec des enroulements semblables pour produire une tension résiduelle doit être spécifiée en volt-ampères et la valeur doit être choisie parmi celles de 5.2.

#### 13.4.2 Puissance thermique assignée limite

La puissance thermique assignée limite de l'enroulement de tension résiduelle doit être spécifiée en voltampères; la valeur doit être de 15, 25, 50, 75, 100 VA et leurs multiples décimaux, référée à la tension assignée secondaire, pour un facteur de puissance égal à 1. Les valeurs préférées sont soulignées.

NOTE – Puisque les enroulements de tension résiduelle sont reliés en triangle ouvert, ils ne sont chargés qu'en cas de défaut.

Faisant exception à la définition donnée en 2.1.17.2, la puissance thermique assignée de l'enroulement de tension résiduelle est référée à une durée de 8 h.

### **13.5 Classe de précision de l'enroulement secondaire de tension résiduelle**

La classe de précision de l'enroulement de tension résiduelle doit être 6P conformément à 13.1.1 et 13.2.

#### **NOTES**

1 Si un enroulement de tension résiduelle est employé pour une tâche particulière, une autre classe de précision normale peut être choisie par accord entre constructeur et acheteur, conformément à 12.1.1, 12.2, 13.1.1 et 13.2.

2 Si un enroulement de tension résiduelle est employé seulement comme un amortisseur, la prescription d'une classe de précision n'est pas obligatoire.

### **13.6 Essais de type concernant les transformateurs de tension pour protection**

#### **13.6.1 Essais d'échauffement des secondaires de tension résiduelle**

Si un des enroulements secondaires est destiné à fournir une tension résiduelle, le transformateur doit supporter un essai conformément à 8.1, effectué selon les prescriptions de 5.4 point a), à 1,2 fois la tension primaire assignée, et suivi directement par l'essai selon les prescriptions de 5.4 point c).

Pendant la première partie de l'essai à 1,2 fois la tension primaire assignée, l'enroulement de tension résiduelle ne doit pas être chargé. Pendant la seconde partie de l'essai, pendant 8 h à 1,9 fois la tension primaire assignée, l'enroulement de tension résiduelle doit être chargé avec sa puissance thermique assignée limite (voir 13.4.2), tandis que les autres enroulements doivent être chargés avec leurs charges de précision.

Lorsqu'une valeur de puissance thermique limitée est spécifiée pour d'autres enroulements secondaires, un essai d'échauffement supplémentaire doit être effectué conformément au point a) de 5.4, à la tension primaire assignée et l'enroulement de tension résiduelle ne doit pas être chargé.

NOTE – La mesure de la tension doit être effectuée du côté de l'enroulement primaire, car la tension secondaire effective peut être appréciablement moindre que la tension secondaire assignée multipliée par le facteur de tension.

#### **13.6.2 Essais concernant la précision**

Pour vérifier la conformité à 13.2, des essais de type doivent être faits à 2 %, à 5 % et à 100 % de la tension assignée et au produit de la tension assignée par le facteur de tension assigné: à 25 %, et à 100 % de la charge de précision pour un facteur de puissance de 0,8 inductif.

Si le transformateur a plusieurs enroulements secondaires, les enroulements doivent être chargés selon les indications de la note de 13.2.

L'enroulement de tension résiduelle ne doit pas être chargé pendant les essais effectués avec une tension jusqu'à 100 % de la tension assignée et chargé avec sa charge de précision pendant l'essai effectué avec une tension égale à la tension assignée multipliée par le facteur de tension assigné.

### **13.7 Essais individuels concernant les transformateurs de tension pour protection**

#### **13.7.1 Essais concernant la précision**

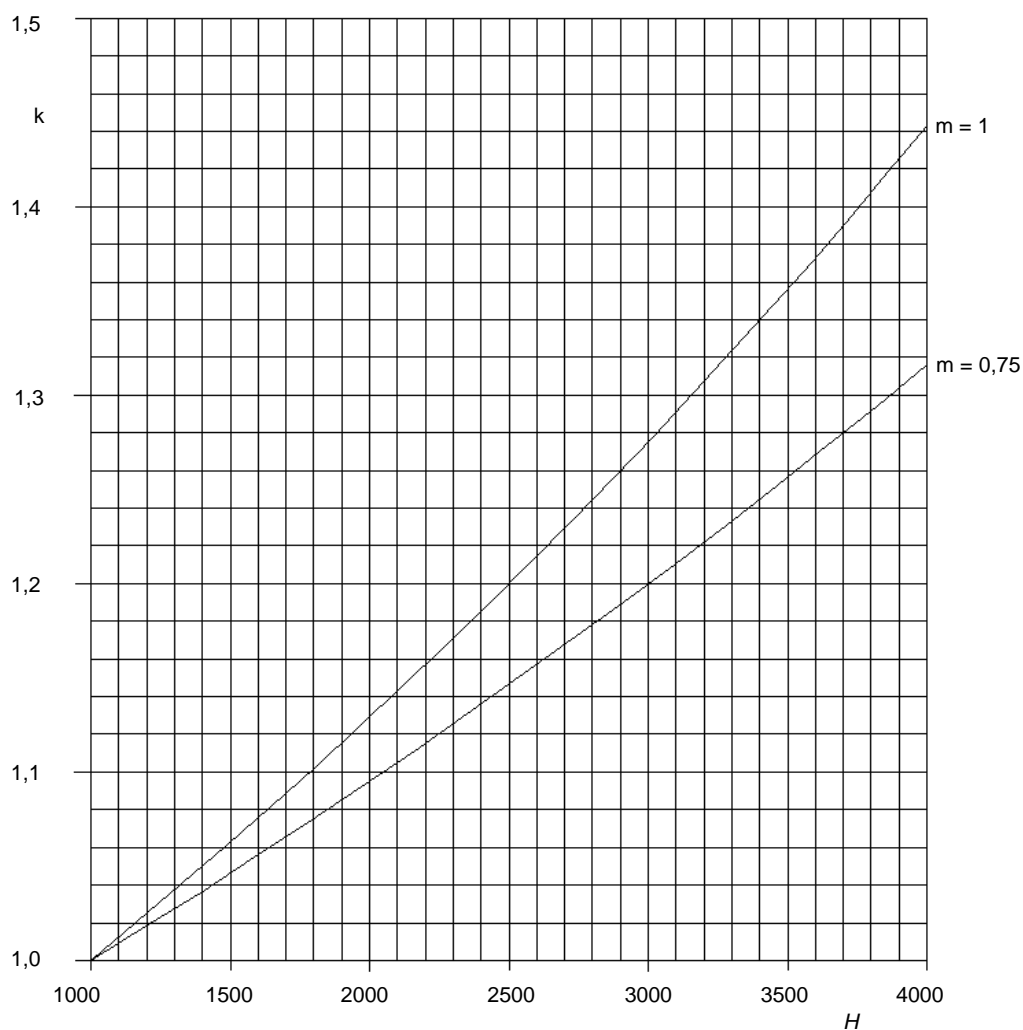
Les essais individuels concernant la précision sont en principe les mêmes que les essais de type prescrits en 13.6.2, mais il est admis que les essais individuels puissent être effectués à un nombre réduit de tensions et/ou de charges, à condition qu'il ait été montré par des essais de type effectués sur un transformateur identique que de tels essais en nombre réduit suffisent pour vérifier la conformité à 13.2.

### **13.8 Marquage de la plaque signalétique d'un transformateur de tension pour protection**

La plaque signalétique doit porter les indications appropriées conformément à 11.1.

La classe de précision doit être marquée à la suite de l'indication de la puissance assignée correspondante.

La figure 16 donne un exemple type de plaque signalétique.



Ces facteurs peuvent être calculés à partir de l'équation qui suit:

$$k = e^{m(H-1000)/8150}$$

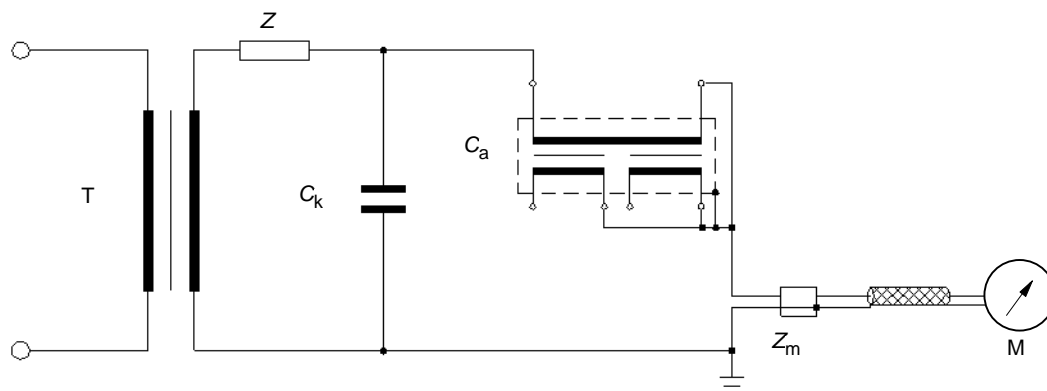
où

$H$  est l'altitude en mètres;

$m = 1$  pour la fréquence industrielle et la tension de choc de foudre;

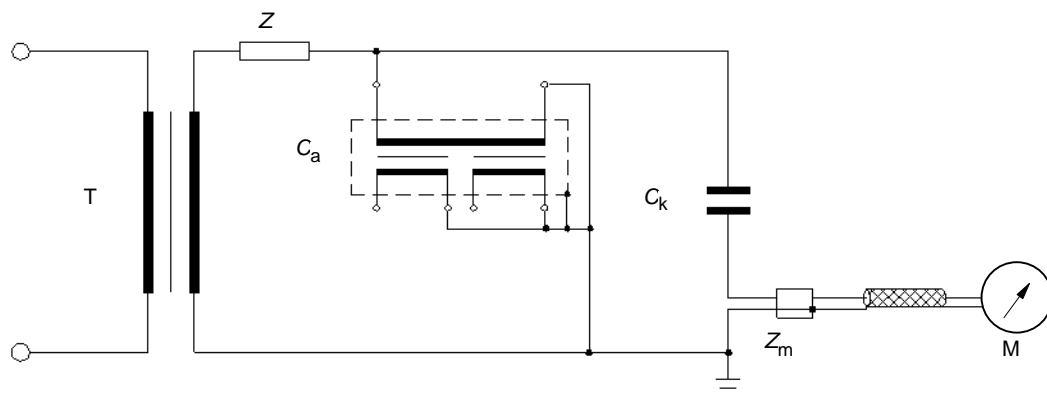
$m = 0,75$  pour la tension de choc de manoeuvre.

**Figure 1 – Facteur correctif pour l'altitude**



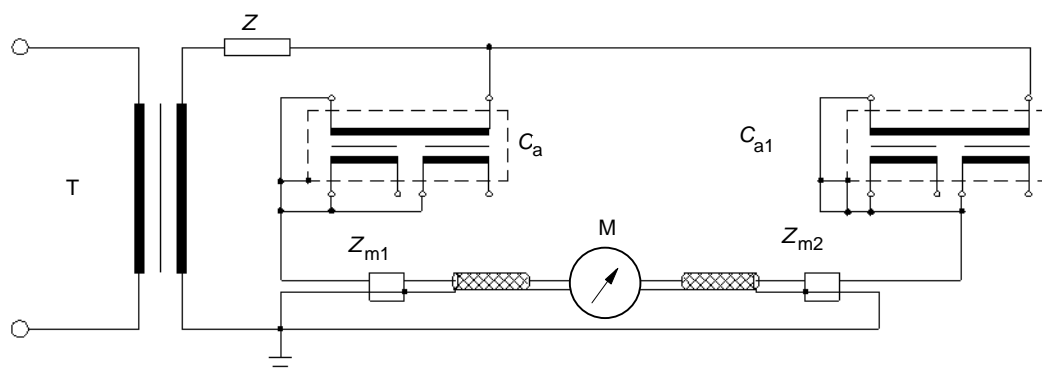
- $T$  est le transformateur d'essai
- $C_a$  est le transformateur de mesure à essayer
- $C_k$  est le condensateur de couplage
- $M$  est l'appareil de mesure de décharges partielles
- $Z_m$  est l'impédance de mesure
- $Z$  est le filtre (absent si  $C_k$  est la capacité du transformateur d'essai)

**Figure 2 – Circuit d'essai pour la mesure des décharges partielles**



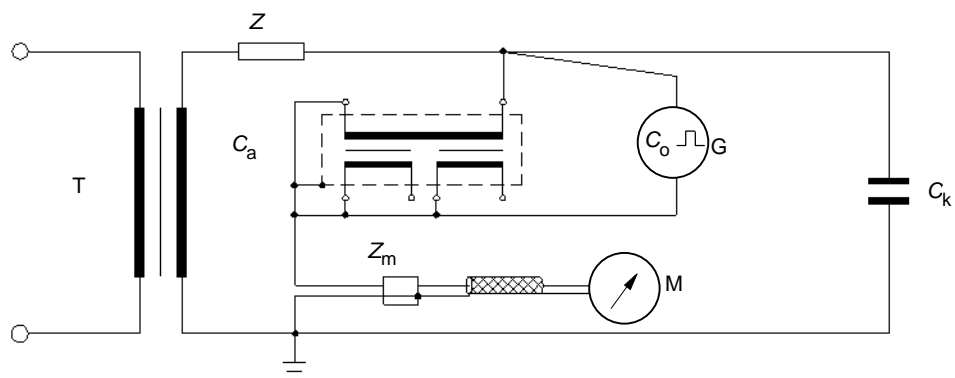
Symboles comme sur la figure 2

**Figure 3 – Variante de circuit d'essai pour la mesure des décharges partielles**



- T est le transformateur d'essai
- $C_a$  est le transformateur de mesure à essayer
- $C_{a1}$  est l'objet libre auxiliaire pour décharges partielles  
(ou  $C_k$  est le condensateur de couplage)
- M est l'appareil de mesure de décharges partielles
- $Z_{m1}$  et  $Z_{m2}$  sont les impédances de mesure
- Z est le filtre

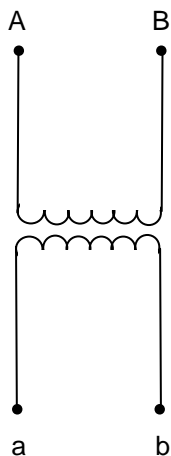
**Figure 4 – Exemple de circuit d'essai équilibré pour la mesure des décharges partielles**



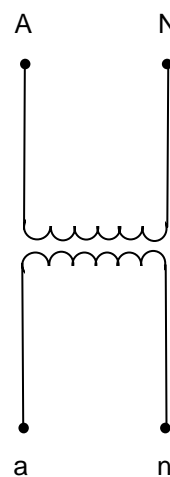
- Symboles comme sur la figure 2
- G est le générateur de choc avec capacité  $C_0$



**Figure 5 – Exemple de circuit d'étalonnage pour la mesure des décharges partielles**



**Figure 6 –** Transformateur monophasé avec bornes primaires totalement isolées et un seul circuit secondaire



**Figure 7 -** Transformateur monophasé avec une borne primaire neutre à isolement réduit et un seul circuit secondaire

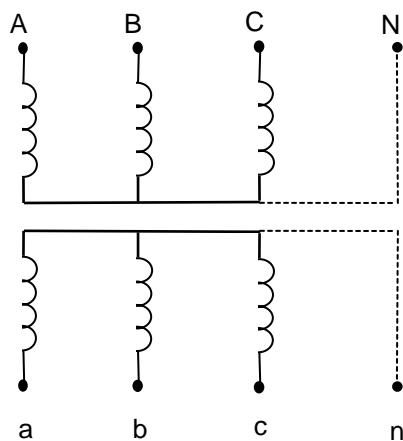


Figure 8 – Ensemble triphasé avec un seul circuit secondaire

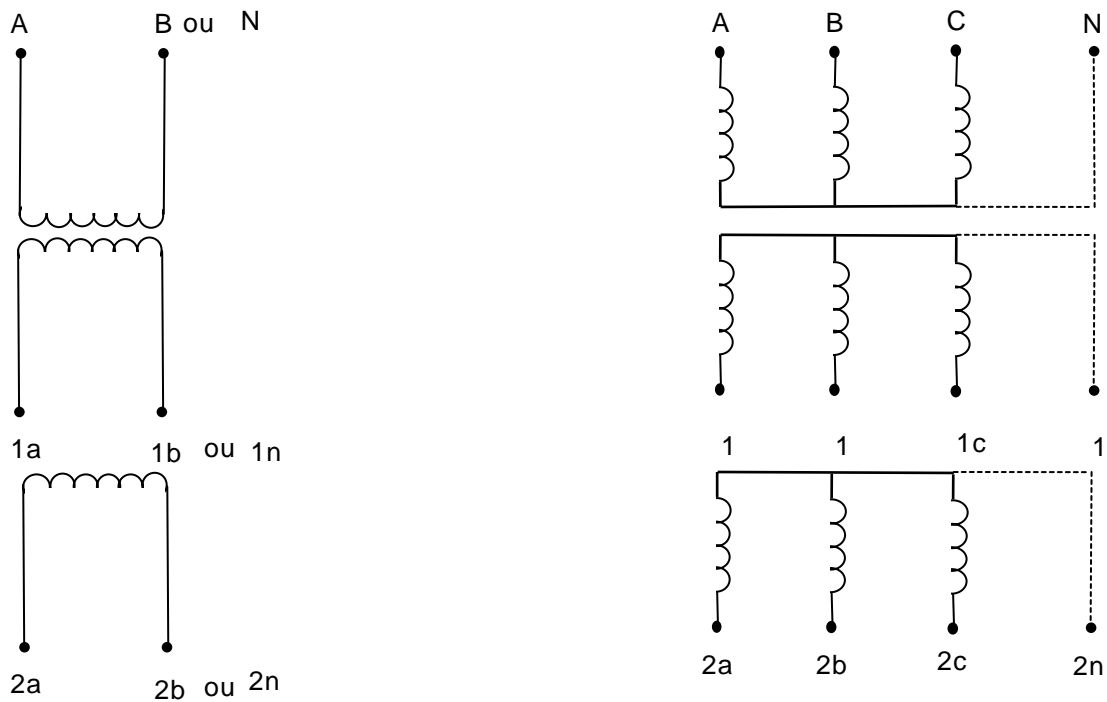


Figure 9 – Transformateur monophasé avec deux circuits secondaires

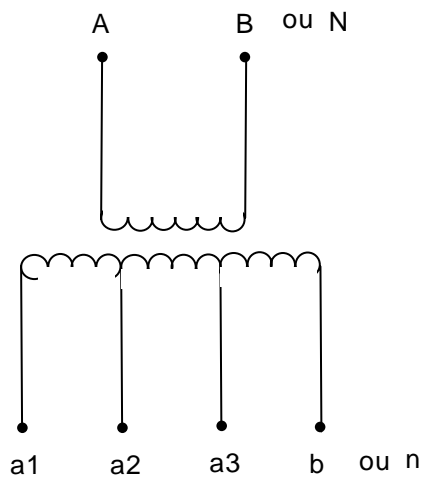


Figure 11 – Transformateur monophasé avec un circuit secondaire à prises multiples

Figure 10 – Ensemble triphasé avec deux circuits secondaires

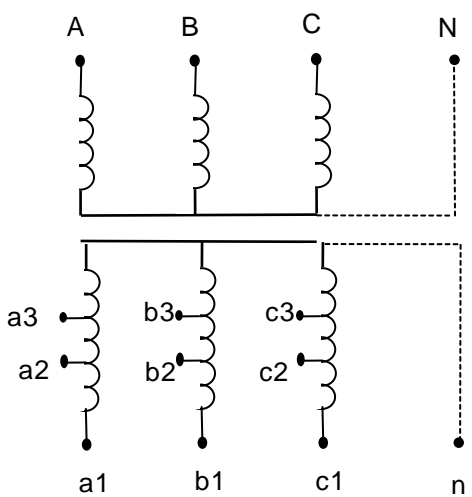
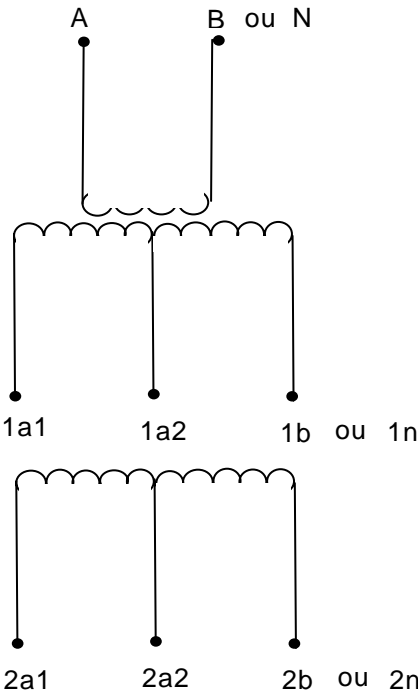
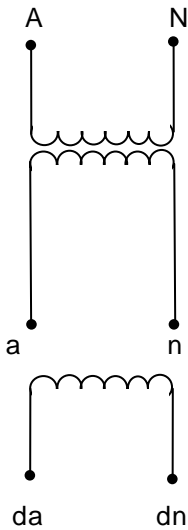


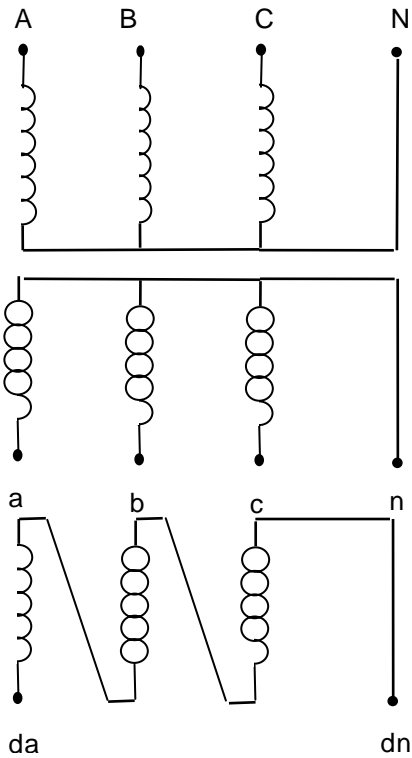
Figure 12 – Ensemble triphasé avec un circuit secondaire à prises multiples



**Figure 13 –Transformateur monophasé avec deux circuits secondaires à prises multiples**



**Figure 14 –Transformateur monophasé avec un enroulement de tension résiduelle**



**Figure 15 –Transformateur triphasé avec enroulement de tension résiduelle**

Transformateur de tension		A – N 220000: $\sqrt{3}$ V			
Constructeur		1a – 1n	(2a – 2n)		da – dn
Numéro de série: .....		110: $\sqrt{3}$			110:3
Type	50 Hz	VA:25	50		25
245/460/1050 kV	1,9 $U_n$ 30 s	Cl:0,5	3P		6P

Figure 16 – Exemple type de plaque signalétique

\_\_\_\_\_

**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'ils 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 compris 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 60028	1925	Spécification internationale d'un cuivre-type recuit	-	-
CEI 60038 (mod)	1983	Tensions normales de la CEI <sup>1)</sup>	HD 472 S1	1989
CEI 60050(321)	1986	Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) Chapitre 321: Transformateurs de mesure	-	-
CEI 60060-1 + corr. mars	1989 1990	Techniques des essais à haute tension Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais	HD 588.1 S1	1991
CEI 60071-1	1993	Coordination de l'isolement Partie 1: Définitions, principes et règles	EN 60071-1	1995
CEI 60085	1984	Evaluation et classification thermiques de l'isolation électrique	HD 566 S1	1990
CEI 60270	1981	Mesure des décharges partielles	-	-
CEI 60721	série	Classification des conditions d'environnement	EN 60721 HD 478	série série
CEI 60815	1986	Guide pour le choix des isolateurs sous pollution	-	-
-	-	Transformateurs de mesure de tension triphasés pour niveaux de tension inférieurs à 52 kV	HD 587 S1	1993

---

1) Le HD 472 S1 a comme titre: Tensions nominales des réseaux électriques de distribution publique basse tension.