

norme européenne

NF EN 60044-1

Novembre 2000

norme française

Indice de classement : C 42-544-1

ICS 29.260.20

Transformateurs de mesure

Partie 1 : Transformateurs de courant

E : Instrument transformers - Part 1 : Current transformers

D : Meßwandler - Teil 1 : Stromwandler

Norme française homologuée

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

Correspondance La norme européenne EN 60044-1 :1999 a le statut d'une norme française. Elle reproduit la publication CEI 60044-1 :1996 avec des modifications.

Analyse

Le présent document est applicable aux transformateurs de courant 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 courant, conception, essais.

Modifications

Correction



AVANT-PROPOS NATIONAL

Ce document constitue la version française complète de la norme européenne EN 60044-1 :1999 en reprenant le texte de la publication CEI 60044-1 :1996 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 60044-1, en mai 1999.

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 60121	1960		
CEI 60270	1981		UTE C 41-300 1968
CEI 60567	1992	EN 60567 1992	NF EN 60567 1992
			Indice C 27-224
CEI 60599	1978	HD 397 S1 ³⁾ 1979	
CEI 60721	Série	EN 60721 Série	NF EN 60721-1 1995
		HD 478.2 Série	C 20-001
CEI 60815	1986		
<p><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></p> <p><i>Les documents CEI sont en vente à l'UTE.</i></p>			

**NORME EUROPEENNE
EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD**

EN 60044-1

Août 1999

ICS 29.260.20

remplace HD 553 S2:1993

Version française

**Transformateurs de mesure
Partie 1 : Transformateurs de courant
(CEI 60044-1:1996, modifiée)**

**Meßwandler
Teil 1 : Stromwandler
(IEC 60044-1:1996, modifiziert)**

**Instrument transformers
Part:1: Current transformers
(IEC 60044-1:1996, modified)**

La présente norme européenne a été adoptée par le CENELEC le 1999-08-01. 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 60044-1:1996, 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 60044-1 le 1999-08-01.

Cette norme européenne remplace le HD 553 S2:1993.

Les dates suivantes ont été fixées:

- date limite à laquelle la EN doit être mise en application
au niveau national par publication d'une norme
nationale identique ou par entérinement (dop) 2000-08-01
- date limite à laquelle les normes nationales
conflictuelles doivent être annulées (dow) 2002-01-01

Les annexes appelées "normatives" font partie du corps de la norme.

Les annexes appelées "informatives" ne sont données que pour information.

Dans la présente norme, les annexes A et ZA sont normatives et l'annexe B est informative.
L'annexe ZA a été ajoutée par le CENELEC.

SOMMAIRE

	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 concernant les transformateurs de courant pour mesures.....	9
2.3 Définitions complémentaires concernant les transformateurs de courant pour protection.....	9
3 Conditions de service normales et spéciales.....	10
3.1 Conditions de service normales.....	10
3.2 Conditions de service spéciales	11
3.3 Installation de mise à la terre	12
4 Valeurs normales	12
4.1 Valeurs normales des courants primaires assignés	12
4.2 Valeurs normales des courants secondaires assignés	13
4.3 Valeur normale du courant d'échauffement.....	12
4.4 Valeurs normales des puissances de précision.....	12
4.5 Courants de court-circuit assignés	13
4.6 Limites d'échauffement	13
5 Prescriptions relatives à la conception.....	14
5.1 Prescriptions relatives à l'isolement.....	14
5.2 Prescriptions mécaniques	20
6 Classification des essais	21
6.1 Essais de type	21
6.2 Essais individuels	22
6.3 Essais spéciaux	22
7 Essais de type	22
7.1 Essais de tenue aux courants de court-circuit.....	22
7.2 Essai d'échauffement.....	23
7.3 Essais au choc sur l'enroulement primaire.....	23
7.4 Essai sous pluie pour les transformateurs du type extérieur.....	25
8 Essais individuels.....	25

Page 4
EN 60044-1:1999

8.1	Vérification du marquage des bornes	25
8.2	Essais de tenue à fréquence industrielle sur les enroulements primaires et mesure des décharges partielles	25
8.3	Essais de tenue à fréquence industrielle entre sections des enroulements primaires et secondaires et sur les enroulements secondaires.....	26
8.4	Essai de surtension entre spires.....	26
9	Essais spéciaux	27
9.1	Essai au choc coupé sur l'enroulement primaire	27
9.2	Mesure de la capacité et du facteur de dissipation diélectrique	27
9.3	Essais mécaniques	28
10	Marquage	30
10.1	Marquage des bornes – Règles générales.....	29
10.2	Marquage des plaques signalétiques.....	32
11	Prescriptions complémentaires concernant les transformateurs de courant pour mesures.....	31
11.1	Désignation de la classe de précision d'un transformateur de courant pour mesures	31
11.2	Limites de l'erreur de courant et du déphasage des transformateurs de courant pour mesures	31
11.3	Transformateurs à gamme étendue.....	35
11.4	Essais de type concernant la précision des transformateurs de courant pour mesures...	33
11.5	Essais individuels concernant la précision des transformateurs de courant pour mesures..	33
11.6	Courant de sécurité assigné.....	33
11.7	Marquage de la plaque signalétique d'un transformateur pour mesures	34
12	Prescriptions complémentaires concernant les transformateurs de courant pour protection.....	34
12.1	Valeurs normales des facteurs limites de précision.....	34
12.2	Classes de précision d'un transformateur de courant pour protection.....	34
12.3	Limites des erreurs des transformateurs de courant pour protection	34
12.4	Erreur de courant et du déphasage – Essais de type et essais individuels des transformateurs de courant pour protection	37
12.5	Erreur composée – Essais de type	35
12.6	Erreur composée – Essais individuels	36
12.7	Marquage de la plaque signalétique d'un transformateur pour protection	38
Annexes A	Transformateurs de courant pour protection	42
Annexe B	Essais de chocs coupés multiples	47
Annexe ZA (Normative)	Références normatives à d'autres publications internationales avec les publications européennes correspondantes.....	48

Transformateurs de mesure –

Partie 1: Transformateurs de courant

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 44 est applicable aux transformateurs de courant 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.

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

L'article 11 comprend les prescriptions et les essais qui complètent, en ce qui concerne les transformateurs pour mesures, ceux qui sont indiqués dans les articles 3 à 10.

L'article 12 comprend les prescriptions et les essais qui complètent, en ce qui concerne les transformateurs de courant pour protection, ceux qui sont indiqués dans les articles 3 à 10. Les prescriptions de cet article se rapportent en particulier aux transformateurs devant assurer la protection en conservant une précision suffisante pour des courants valant plusieurs fois le courant assigné.

Pour certains systèmes de protection dans lesquels le transformateur de courant fait partie intégrante du système (par exemple dans les dispositifs de protection différentielle à action rapide ou de protection par courant de terre dans les réseaux à neutre mis à la terre par bobine d'extinction), des prescriptions supplémentaires peuvent être nécessaires.

Les transformateurs de courant pour mesure et protection doivent satisfaire aux prescriptions de tous les articles de la présente norme.

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

Note : Pour les transformateurs de mesure extérieurs présentant des tensions ≥ 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 121: 1960, *Recommandation concernant les fils en aluminium recuit industriel pour conducteurs électriques*

CEI 270: 1981, *Mesure des décharges partielles*

CEI 567: 1992, *Guide d'échantillonnage de gaz et d'huile dans les matériels électriques immergés, pour l'analyse des gaz libres et dissous*

CEI 599: 1978, *Interprétation de l'analyse des gaz dans les transformateurs et autres matériels électriques remplis d'huile, en service*

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 courant: Transformateur de mesure dans lequel le courant secondaire est, dans les conditions normales d'emploi, pratiquement proportionnel au courant primaire et déphasé par rapport à celui-ci d'un angle voisin de zéro, pour un sens approprié des connexions. [VEI 321-02-01]

2.1.3 enroulement primaire: Enroulement traversé par le courant à transformer.

2.1.4 enroulement secondaire: Enroulement qui alimente les circuits de courant des appareils de mesure, des compteurs, des relais et circuits analogues.

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

2.1.6 courant primaire assigné: Valeur du courant primaire d'après laquelle sont déterminées ses conditions de fonctionnement. [VEI 321-01-11 modifiée]

2.1.7 courant secondaire assigné: Valeur du courant secondaire d'après laquelle sont déterminées ses conditions de fonctionnement. [VEI 321-01-15 modifiée]

2.1.8 rapport de transformation: Rapport entre le courant primaire réel et le courant secondaire réel. [VEI 321-01-17 modifiée]

2.1.9 rapport de transformation assigné: Rapport entre le courant primaire assigné et le courant secondaire assigné. [VEI 321-01-19 modifiée]

2.1.10 erreur de courant (erreur de rapport): Erreur que le transformateur introduit dans la mesure d'un courant et qui provient de ce que le rapport de transformation n'est pas égal à la valeur assignée. [VEI 321-01-21 modifiée]

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

$$\text{Erreur de courant \%} = \frac{(K_n I_s - I_p) \times 100}{I_p}$$

où

K_n est le rapport de transformation assigné;

I_p est le courant primaire donné;

I_s est le courant secondaire correspondant à I_p dans les conditions de la mesure.

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

Le déphasage est considéré comme positif lorsque le vecteur courant secondaire est en avance sur le vecteur courant primaire; il est exprimé habituellement en minutes ou en centiradians.

NOTE – Cette définition n'est rigoureuse qu'en courants sinusoïdaux.

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

2.1.13 charge: Impédance du circuit secondaire exprimée en ohms avec indication du facteur de puissance.

La charge est généralement caractérisée par la puissance apparente absorbée, en voltampères, à un facteur de puissance indiqué et pour le courant secondaire assigné.

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

2.1.15 puissance de précision: Puissance apparente (en voltampères à un facteur de puissance spécifié) que le transformateur peut fournir au circuit secondaire pour le courant secondaire assigné et la charge de précision.

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

2.1.17 niveau d'isolement assigné: Combinaison des valeurs de tension qui caractérise l'isolation du transformateur en ce qui concerne son aptitude à résister aux contraintes diélectriques.

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

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

2.1.20 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]

2.1.21 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.

2.1.22 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 604-03-06]

2.1.23 réseau à neutre mis à la terre: Réseau dont le neutre est connecté à la terre, soit directement, soit à travers une résistance ou une réactance suffisamment faible pour réduire les oscillations transitoires et laisser passer un courant suffisant pour la protection par courant de terre:

- a) le neutre est dit effectivement à la terre si, quel que soit l'emplacement du défaut, le facteur de défaut à la terre ne dépasse pas 1,4;

NOTE – Ce résultat est obtenu approximativement si, quelle que soit la configuration du réseau, le rapport de la réactance homopolaire à la réactance directe est inférieur à 3 et le rapport de la résistance homopolaire à la réactance directe est inférieur à l'unité.

- b) le neutre est non effectivement à la terre si, lors d'un défaut à la terre, le facteur de défaut à la terre est supérieur à 1,4.

2.1.24 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 d'un câble de faible longueur.

2.1.25 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.

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

2.1.27 courant de court-circuit thermique assigné (I_{th}): Valeur efficace du courant primaire que le transformateur peut supporter pendant 1 s, son secondaire étant mis en court-circuit, sans qu'il subisse de dommage.

Des durées assignées autres que 1 s, telles que 0,5 s, 2 s et 3 s peuvent faire l'objet d'un accord.

2.1.28 courant dynamique assigné (I_{dyn}): Valeur de crête du courant primaire que le transformateur peut supporter sans subir de dommages électriques ou mécaniques du fait des efforts électromagnétiques qui en résultent, le secondaire étant mis en court-circuit.

2.1.29 courant d'échauffement ou courant thermique continu assigné: Valeur du courant qui peut passer indéfiniment dans l'enroulement primaire, l'enroulement secondaire débitant sur la charge de précision, sans que l'échauffement dépasse les valeurs spécifiées.

2.1.30 courant d'excitation: Valeur efficace du courant qui traverse l'enroulement secondaire d'un transformateur de courant, lorsqu'on applique entre les bornes secondaires une tension sinusoïdale de fréquence assignée, l'enroulement primaire et tous les autres enroulements étant à circuit ouvert.

2.1.31 erreur composée*: En régime permanent, la valeur efficace de la différence entre:

- a) les valeurs instantanées du courant primaire, et
- b) le produit du rapport de transformation assigné par les valeurs instantanées du courant secondaire,

* Voir annexe A.

les sens positifs des courants primaire et secondaire correspondant aux conventions admises pour le marquage des bornes.

L'erreur composée ε_c est exprimée en général en pour-cent de la valeur efficace du courant primaire selon la formule:

$$\varepsilon_c = \frac{100}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (K_n i_s - i_p)^2 dt}$$

où

K_n est le rapport de transformation assigné;

I_p est la valeur efficace du courant primaire;

i_p est la valeur instantanée du courant primaire;

i_s est la valeur instantanée du courant secondaire;

T est la valeur de la période des courants.

2.2 Définitions complémentaires concernant les transformateurs de courant pour mesures

2.2.1 transformateur de courant pour mesures: Transformateur de courant destiné à alimenter des appareils de mesure, des compteurs et autres appareils analogues.

2.2.2 courant limite assigné (pour les appareils de mesure) (IPL): Valeur du courant primaire minimal pour lequel l'erreur composée du transformateur de courant pour mesures est égale ou supérieure à 10 %, la charge secondaire étant égale à la charge de précision.

NOTE – Il convient que l'erreur composée soit plus grande que 10 % pour protéger les appareils de mesure alimentés par le transformateur contre les courants de valeurs élevées apparaissant en cas de court-circuit dans le réseau.

2.2.3 facteur de sécurité (pour les appareils de mesure) (FS): Rapport entre le courant limite primaire assigné pour l'appareil et le courant primaire assigné.

NOTE – La sécurité des appareils alimentés par le transformateur est d'autant plus grande, en cas de court-circuit dans le réseau où est intercalé l'enroulement primaire, que le facteur de sécurité (FS) est plus petit.

2.2.4 force électromotrice limite secondaire: Produit du facteur de sécurité FS par le courant secondaire assigné et par la somme vectorielle de la charge de précision et de l'impédance de l'enroulement secondaire.

NOTES

1 La méthode de calcul de la force électromotrice limite secondaire conduit à une valeur supérieure à la valeur réelle. Elle a été choisie en vue d'appliquer la même méthode d'essai qu'en 11.6 et 12.5 relatifs aux transformateurs de courant pour protection.

D'autres méthodes peuvent être utilisées suivant accord entre le constructeur et l'acheteur.

2 Dans le calcul de la force électromotrice limite secondaire, la résistance de l'enroulement secondaire doit être corrigée à la température de 75 °C.

2.3 Définitions complémentaires concernant les transformateurs de courant pour protection

2.3.1 transformateur de courant pour protection: Transformateur de courant destiné à alimenter des relais de protection.

2.3.2 courant limite de précision assigné: Valeur la plus élevée du courant primaire pour laquelle le transformateur doit satisfaire aux prescriptions concernant l'erreur composée.

2.3.3 facteur limite de précision: Rapport entre le courant limite de précision assigné et le courant primaire assigné.

2.3.4 force électromotrice limite secondaire: Produit du facteur limite de précision par le courant secondaire assigné et par la somme vectorielle de la charge de précision et de l'impédance de l'enroulement secondaire.

3 Conditions de service normales et spéciales

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

3.1 Conditions de service normales

3.1.1 Température d'air ambiante

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

Tableau 1 – Catégories de température

Catégorie	Température minimale	Température maximale
	°C	°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.		

3.1.2 Altitude

L'altitude est inférieure à 1000 m.

3.1.3 Vibrations ou tremblements de terre

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

3.1.4 Autres conditions de service pour des transformateurs de courant 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 courant 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.

3.1.5 Autres conditions de service pour des transformateurs de courant du type extérieur

Les autres conditions de service considérées sont les suivantes:

- a) la valeur moyenne de la température de l'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/m² (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.

Les niveaux de pollution sont donnés au tableau 7.

- 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.

3.2 Conditions de service spéciales

Lorsque des transformateurs de courant peuvent être utilisés dans des conditions différentes des conditions normales de service données en 3.1, il convient que les exigences de l'utilisateur se réfèrent à des seuils normalisés comme suit.

3.2.1 Température ambiante

Pour les installations situées là où la température ambiante peut s'écarter de manière significative des gammes de conditions de service normale fixées en 3.1.1, il convient que les gammes préférentielles de température minimale et maximale à spécifier soient:

- -50 °C et 40 °C pour les climats très froids;
- -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, ou un déclassement peut être opéré, afin de ne pas dépasser les échauffements spécifiés.

3.2.2 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 condition 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.

3.2.3 Tremblements de terre

Des règles et des essais sont à l'étude.

3.3 Installation de mise à la terre

Les installations de mise à la terre considérées sont:

- 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).

4 Valeurs normales

4.1 Valeurs normales des courants primaires assignés

4.1.1 Transformateurs à un seul rapport de transformation

Les valeurs normales des courants primaires assignés sont:

10 – 12,5 – 15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 50 – 60 – 75 A.

et leurs multiples ou sous-multiples décimaux.

Les valeurs préférentielles sont soulignées.

4.1.2 Transformateurs à plusieurs rapports de transformation

Les valeurs normales figurant au 4.1.1 s'appliquent au plus petit courant primaire assigné.

4.2 Valeurs normales des courants secondaires assignés

Les valeurs normales des courants secondaires assignés sont 1 A, 2 A et 5 A, cette dernière valeur étant préférentielle.

NOTE – Pour des transformateurs couplés en triangle, les valeurs précédentes divisées par $\sqrt{3}$ sont aussi des valeurs normales.

4.3 Valeur normale du courant d'échauffement

Sauf indications contraires, le courant d'échauffement est égal au courant primaire assigné (voir 11.3).

4.4 Valeurs normales des puissances de précision

Les valeurs normales des puissances de précision jusqu'à 30 VA sont:

2,5 – 5,0 – 10 – 15 et 30 VA.

Au-delà de 30 VA, des valeurs de puissances de précision peuvent être choisies de façon à répondre aux besoins.

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.

4.5 Courants de court-circuit assignés

Les transformateurs de courant à primaire bobine ou formé d'un seul conducteur doivent satisfaire aux prescriptions des 4.5.1 et 4.5.2.

4.5.1 Courant de court-circuit thermique assigné (I_{th})

Pour chaque transformateur, la valeur assignée du courant de court-circuit thermique doit être spécifiée (voir 2.1.27).

4.5.2 Valeur normale du courant dynamique assigné (I_{dyn})

La valeur normale du courant dynamique assigné doit être à 2,5 I_{th} . La valeur de I_{dyn} ne doit être indiquée sur la plaque signalétique que si elle est différente de cette valeur (voir 2.1.28).

4.6 Limites d'échauffement

L'échauffement d'un transformateur de courant parcouru par un courant primaire égal à son courant d'échauffement, l'enroulement secondaire alimentant une charge égale à la charge de précision avec un facteur de puissance unité, ne doit pas dépasser la valeur appropriée du tableau 2. Ces valeurs supposent que le transformateur est destiné à fonctionner dans les conditions de service indiquées à l'article 3.

S'il est prévu que la température de l'air ambiant pourrait dépasser les valeurs indiquées en 3.1, l'échauffement indiqué dans le tableau 2 doit être réduit d'une valeur égale à l'excès de température ambiante.

Si le transformateur est prévu pour fonctionner à une altitude supérieure à 1000 m, les essais étant faits à une altitude inférieure à 1000 m, les limites d'échauffement données dans le tableau 2 doivent être réduites dans les proportions suivantes, par 100 m d'altitude du lieu de fonctionnement au-dessus de 1000 m:

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

L'échauffement des enroulements est limité par la classe la plus basse d'isolation soit de l'enroulement même soit du milieu dans lequel il est noyé.

Les limites d'échauffement admissibles pour chaque classe d'isolation sont indiquées dans le tableau 2.

Tableau 2 – 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 A	45

E	60
B	75
F	85
H	110
	135
NOTE – Pour certaines matières isolantes (par exemple résine), il convient que le constructeur indique la classe d'isolation applicable.	

Lorsque le transformateur est muni d'un conservateur d'huile ou lorsque l'huile est surmontée d'un gaz inerte ou lorsque le transformateur est hermétiquement fermé, l'échauffement de l'huile à sa partie supérieure, la mesure étant effectuée dans la cuve, ne doit pas dépasser 55 K.

S'il n'existe aucune des dispositions précédentes, l'échauffement de l'huile à sa partie supérieure ne doit pas dépasser 50 K.

L'échauffement mesuré à la surface du circuit magnétique et des autres parties métalliques en contact avec des enroulements ou des isolants, ou à leur voisinage immédiat, ne doit pas dépasser les valeurs admises du tableau 2.

5 Prescriptions relatives à la conception

5.1 Prescriptions relatives à l'isolement

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

5.1.1 Niveaux d'isolement assignés pour les enroulements primaires

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

Dans le cas d'un transformateur de courant sans enroulement primaire et sans isolation primaire propre, la valeur de U_m est supposée être égale à 0,72 kV

5.1.1.1 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 3.

5.1.1.2 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 3.

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

5.1.1.3 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 4.

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

**Tableau 3 – 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)	Tension de tenue assignée à fréquence industrielle (valeur efficace)	Tension de tenue assignée au choc de foudre (valeur de crête)
kV	kV	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 4 – 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	950
	850	1050
362	850	1050
	950	1175
420	<u>950</u>	1300
	1050	1425
525	1050	1425
	1175	1550
765	1425	1950
	1550	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.		

5.1.2 Autres prescriptions pour l'isolement des enroulements primaires

5.1.2.1 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 5, supporter la tension de tenue à fréquence industrielle correspondant à la tension de tenue au choc de foudre choisie.

5.1.2.2 Décharges partielles

Les prescriptions relatives aux décharges partielles sont applicables aux transformateurs de courant 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 6, pour les tensions d'essai de décharges partielles spécifiées par ce même tableau, après l'application d'une précontrainte conformément aux procédures de 8.2.2.

**Tableau 5 – 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
1050	460
1175	510
1300	570
1425	630
1550	680
1950	880
2100	975

Tableau 6 – Tensions d'essai de décharges partielles et niveaux admissibles

Type de mise à la terre du réseau	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 mise à la terre $\leq 1,5$)	U_m $1,2 U_m / \sqrt{3}$	10 5	50 20
Réseau à neutre isolé ou non effectivement mis à la terre (facteur de mise à la terre $> 1,5$)	$1,2 U_m$ $1,2 U_m / \sqrt{3}$	10 5	50 20
NOTES 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.			

5.1.2.3 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.

5.1.2.4 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.

5.1.2.5 Chocs coupés multiples

Si cela est convenu en complément, l'enroulement primaire des transformateurs de courant immergés dans l'huile et de tension la plus élevée pour le matériel U_m égale ou supérieure à 300 kV doit pouvoir supporter des chocs coupés multiples pour contrôler le comportement aux contraintes à haute fréquence attendues en service.

En l'absence d'une expérience suffisante pour proposer un programme d'essai définitif et des critères d'acceptation, seules des informations sur une procédure possible d'essai sont données dans la présente norme, en annexe B. La preuve que la conception est appropriée est laissée au constructeur.

NOTE – Il convient d'examiner particulièrement la conception en ce qui concerne les écrans internes et les connexions parcourues par les courants transitoires.

5.1.3 Prescriptions d'isolement entre sections

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

5.1.4 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).

5.1.5 Prescriptions d'isolement entre spires

La tension de tenue assignée de l'isolement entre spires doit être de 4,5 kV en valeur de crête.

Pour certains types de transformateur, des valeurs plus faibles peuvent être acceptées conformément à la procédure d'essai indiquée en 8.4.

NOTE – Par suite de la procédure d'essai, la forme d'onde peut être fortement déformée.

5.1.6 Prescriptions pour l'isolation externe

5.1.6.1 Pollution

Dans le cas des transformateurs de courant pour l'extérieur, avec des isolateurs en céramique susceptibles de pollution, les lignes de fuite pour des niveaux de pollution donnés sont indiquées dans le tableau 7.

Tableau 7 – Longueurs de la ligne de fuite

Niveau de pollution	Valeur nominale minimale de la ligne de fuite spécifique mm/kV ^{1) 2)}	<u>Ligne de fuite</u> Distance d'arc
I	16	≤ 3,5
II	20	
III	25	≤ 4,0
IV	31	
<p>1) 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).</p> <p>2) Pour d'autres informations et pour les tolérances de fabrication sur la ligne de fuite, voir la CEI 815.</p>		
<p>NOTES</p> <p>1 Il est reconnu que les performances de l'isolation de surface sont fortement affectées par la forme de l'isolateur.</p> <p>2 Dans les régions très légèrement polluées, des lignes de fuite spécifiques 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.</p> <p>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.</p>		

5.2 Prescriptions mécaniques

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

Le tableau 8 donne des informations sur les charges statiques que les transformateurs de courant 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 8 – Charges d'essai de tenue statique

Tension la plus élevée pour le matériel U_m kV	Charge de tenue statique F_R	
	N	
	Charge classe I	Charge classe II
72,5 à 100	1250	2500
123 à 170	2000	3000
245 à 362	2500	4000
≥ 420	4000	6000
<p>NOTES</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 Il convient que les transformateurs de courant 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>		

6 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. De telles différences devront faire 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.

6.1 Essais de type

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

- essais de tenue au courant de court-circuit (voir article 7.1);
- essai d'échauffement (voir 7.2);
- essai au choc de foudre (voir 7.3.2);
- essai au choc de manœuvre (voir 7.3.3);
- essai sous pluie pour les transformateurs de type extérieur (voir 7.4);
- détermination des erreurs (voir 11.4 et/ou 12.4, 11.6, 12.5).

Il convient que tous les essais diélectriques de type soient effectués sur le même transformateur, sauf spécification contraire.

Après que les transformateurs ont été soumis aux essais diélectriques de type de 6.1, ils doivent être soumis à tous les essais individuels de 6.2.

6.2 Essais individuels

Les essais suivants s'appliquent à chaque transformateur individuel;

- a) vérification du marquage des bornes (voir 8.1);
- b) essai de tenue à fréquence industrielle sur l'enroulement primaire (voir 8.2.1);
- c) mesure des décharges partielles (voir 8.2.2);
- d) essai de tenue à fréquence industrielle sur les enroulements secondaires (voir 8.3);
- e) essais de tenue à fréquence industrielle entre sections (voir 8.3);
- f) essai de surtension entre spires (voir 8.4);
- g) détermination des erreurs (voir 11.5 et/ou 12.4, 12.6).

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.

6.3 Essais spéciaux

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

- a) essai au choc de foudre coupé (voir 9.1);
- b) mesure de la capacité et du facteur de dissipation diélectrique (voir 9.2);
- c) essai aux chocs coupés multiples sur l'enroulement primaire (voir annexe B);
- d) essais mécaniques (voir 9.3).

7 Essais de type

7.1 Essais de tenue aux courants de court-circuit

Avant chaque essai au courant I_{th} de court-circuit thermique, le transformateur doit avoir une température comprise entre 10 °C et 40 °C.

L'essai thermique doit être effectué avec le ou les circuits secondaires en court-circuit et en faisant passer dans l'enroulement primaire un courant de valeur efficace I pendant un temps t , tel que la grandeur ($I^2 t$) soit au moins égale à (I_{th}^2) et que la valeur de t soit comprise entre 0,5 s et 5 s.

L'essai dynamique doit être effectué aussi avec le ou les circuits secondaires en court-circuit avec un courant tel que la valeur de la première crête soit au moins égale au courant dynamique assigné I_{dyn} , et en faisant passer ce courant pendant un temps suffisant pour obtenir (ou dépasser) la première crête.

L'essai dynamique peut être combiné avec l'essai thermique pour autant que la première crête du courant ne soit pas inférieure au courant dynamique assigné (I_{dyn}).

On considère que le transformateur a subi ces essais avec succès si, après avoir été ramené à la température de l'air ambiant (comprise entre 10 °C et 40 °C), il satisfait aux conditions suivantes:

- a) il n'est pas endommagé de manière apparente;
- b) ses erreurs après désaimantation ne diffèrent pas de celles relevées avant l'essai de plus de 50 % des limites correspondant à sa classe de précision;
- c) il est capable de supporter les essais diélectriques prescrits en 8.2, 8.3 et 8.4 sous des tensions ou des courants d'essai égaux à 90 % de ceux qui sont indiqués;
- d) un examen de l'isolation jusqu'à la surface du conducteur ne doit révéler aucune détérioration sensible (par exemple une carbonisation).

L'examen n'est pas exigé si la densité du courant pour le courant thermique assigné (I_{th}) ne dépasse pas:

- 180 A/mm², l'enroulement étant en cuivre de conductivité au moins égale à 97 % de la valeur indiquée dans la CEI 28;
- 120 A/mm², l'enroulement étant en aluminium de conductivité au moins égale à 97 % de la valeur indiquée dans la CEI 121.

NOTE – L'expérience a montré qu'en service les prescriptions concernant le courant thermique sont généralement satisfaites pour une isolation de classe A, si la densité du courant dans l'enroulement primaire correspondant au courant thermique assigné ne dépasse pas les valeurs susmentionnées.

En conséquence, la vérification que cette condition est satisfaite peut remplacer l'examen de l'isolation, s'il en est ainsi convenu entre le constructeur et l'acheteur.

7.2 Essai d'échauffement

Un essai doit être fait pour vérifier la conformité aux prescriptions de 4.6. On admet, dans cet essai, que le transformateur a atteint sa température de régime lorsque la température mesurée n'augmente plus d'une quantité supérieure à 1 K par heure.

La température de l'air ambiant pendant l'essai doit être comprise entre 10 °C et 30 °C.

Pour cet essai, les transformateurs doivent être montés d'une manière analogue au montage en service.

L'échauffement des enroulements doit être mesuré par variation de résistance, exception faite des enroulements de faible résistance pour lesquels un couple thermoélectrique peut être utilisé.

L'échauffement des éléments autres que les enroulements est mesuré à l'aide de thermomètres ou de couples thermoélectriques.

7.3 Essais au choc sur l'enroulement primaire

7.3.1 Généralités

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

La tension d'essai doit être appliquée entre les bornes de l'enroulement primaire, mises en court-circuit, et la terre. Le châssis, la cuve (s'il y a lieu), le noyau (s'il est prévu de le mettre à la terre) et toutes les bornes de l'enroulement ou des enroulements secondaires doivent être reliés à la terre.

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.

Des améliorations dans la détection des défaillances peuvent être obtenues par l'enregistrement du ou des courants de terre en complément à celui de la tension.

7.3.2 Essai au choc de foudre

La tension d'essai doit avoir la valeur appropriée, indiquée par les tableaux 3 ou 4, en fonction de la tension la plus élevée pour le matériel et du niveau d'isolement spécifié.

7.3.2.1 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).

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.

7.3.2.2 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).

7.3.3 Essai au choc de manœuvre

La tension d'essai doit avoir la valeur appropriée, indiquée par le tableau 4, 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 7.4).

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.

7.4 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 3 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 manœuvre de polarité positive de la valeur appropriée, indiquée par le tableau 4 en fonction de la tension la plus élevée pour le matériel et du niveau d'isolement assigné.

8 Essais individuels

8.1 Vérification du marquage des bornes

On doit vérifier que le marquage des bornes est correct (voir 10.1).

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

8.2.1 Essai à fréquence industrielle

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

La tension d'essai doit avoir la valeur appropriée indiquée par les tableaux 3 ou 5 en fonction de la tension la plus élevée pour le matériel. La durée doit être de 60 s.

La tension d'essai doit être appliquée entre les bornes de l'enroulement primaire, mises en court-circuit, et la terre. Les bornes de l'enroulement ou des enroulements secondaires, mises en court-circuit, le châssis, la cuve (s'il y a lieu) et le noyau (s'il y a une borne spéciale de mise à la terre) doivent être reliés à la terre.

8.2.2 Mesure des décharges partielles

8.2.2.1 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 4.

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 (voir figure 4) est approprié.

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.

8.2.2.2 Procédure d'essai de décharges partielles

Après une précontrainte effectuée selon la procédure A ou B, les tensions d'essai de décharges partielles spécifiées par le tableau 6 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 6.

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

Procédure B: l'essai de décharges partielles est effectué après l'essai de tenue à fréquence industrielle. La tension appliquée est augmentée jusqu'à 80 % de la tension de tenue à fréquence industrielle, 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.

8.3 Essais de tenue à fréquence industrielle entre sections des enroulements primaires et secondaires et sur les enroulements secondaires

La tension d'essai, avec la valeur appropriée indiquée respectivement en 5.1.3 et 5.1.4, 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 y a une borne spéciale de mise à la terre) et les bornes de tous les autres enroulements ou sections doivent être reliés ensemble et à la terre.

8.4 Essai de surtension entre spires

L'essai de surtension entre spires doit être effectué selon l'une des procédures suivantes.

Sauf convention contraire, le choix de la procédure est laissé au constructeur.

Procédure A: l'enroulement ou les enroulements secondaires étant en circuit ouvert (ou connectés à un dispositif à haute impédance qui mesure la tension de crête) un courant pratiquement sinusoïdal, à une fréquence comprise entre 40 Hz et 60 Hz (conformément à la CEI 60-1) et de valeur efficace égale au courant primaire assigné (ou au courant primaire étendu assigné (voir 11.3), le cas échéant), doit être appliqué pendant 60 s à l'enroulement primaire.

Le courant appliqué doit être limité si la tension d'essai de 4,5 kV en valeur de crête est obtenue avant d'atteindre le courant assigné (ou le courant étendu assigné).

Procédure B: l'enroulement primaire étant en circuit ouvert, la tension d'essai prescrite (à une fréquence appropriée) doit être appliquée pendant 60 s aux bornes de chaque enroulement secondaire, à condition que la valeur efficace du courant secondaire ne dépasse pas le courant secondaire assigné (ou le courant étendu assigné).

La valeur de la fréquence d'essai ne doit pas dépasser 400 Hz.

A cette fréquence, si la valeur de la tension obtenue pour le courant secondaire assigné (ou le courant étendu assigné) est inférieure à 4,5 kV en valeur de crête, la tension obtenue est à considérer comme étant la tension d'essai.

Lorsque la fréquence 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 Essais spéciaux

9.1 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, coupé entre 2 µs à 5 µs. Le circuit de coupure doit être tel que l'amplitude de l'oscillation de polarité opposée du choc réel 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 3 ou 4, 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 5.1.2.3.

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.

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.

9.2 Mesure de la capacité et du facteur de dissipation diélectrique

Les mesures de la capacité et du facteur de dissipation diélectrique doivent être faites après l'essai de tenue à fréquence industrielle sur l'enroulement primaire.

La tension d'essai doit être appliquée entre les bornes de l'enroulement primaire, mises en court-circuit, et la terre. En général les bornes de l'enroulement ou des enroulements secondaires, mises en court-circuit, tout écran et la carcasse métallique isolée doivent être reliés au pont de mesure. Si le transformateur de courant a un dispositif spécial (borne) adapté à cette mesure, les autres bornes basse tension doivent être mises en court-circuit et reliées, ainsi que la carcasse métallique, à la terre ou à l'écran du pont de mesure.

NOTE – Dans certains cas, il est nécessaire de relier la terre à d'autres points du pont.

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

9.3 Essais mécaniques

Les essais sont effectués pour démontrer qu'un transformateur de courant est capable de satisfaire aux prescriptions spécifiées en 5.2.

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

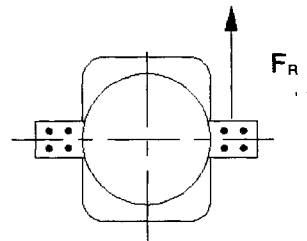
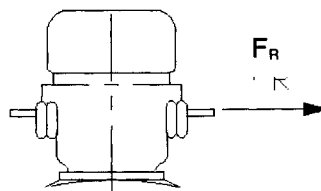
Les transformateurs de courant immergés dans un liquide doivent être remplis avec le liquide isolant spécifié et soumis à la pression de fonctionnement.

Les charges d'essai doivent être appliquées pendant 60 s pour chacune des conditions indiquées dans le tableau 9.

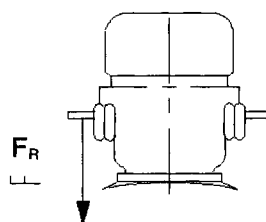
Le transformateur de courant doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai si aucun dommage n'est apparent (déformation, rupture ou fuite).

Tableau 9 – Charges d'essai à appliquer aux bornes primaires

Horizontale à chaque borne



Verticale à chaque borne



NOTE – La charge d'essai doit être appliquée au centre de la borne.

10 Marquage

10.1 Marquage des bornes – Règles générales

Les marquages des bornes permettent d'identifier

- a) les enroulements primaire et secondaire;
- b) les sections de chaque enroulement, lorsqu'il est divisé en sections;
- c) les polarités relatives des enroulements et des sections d'enroulements;
- d) les sorties intermédiaires, s'il en existe.

10.1.1 Mode de marquage

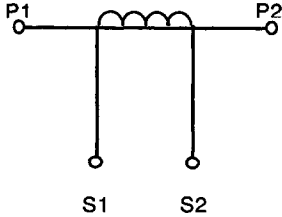
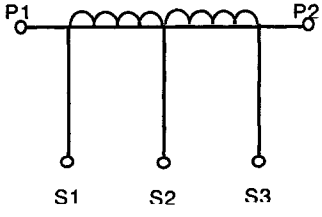
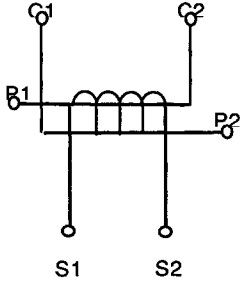
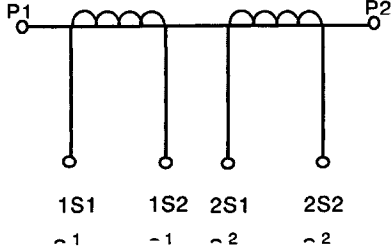
Les bornes doivent être marquées d'une façon claire et indélébile, sur leur surface ou dans leur voisinage immédiat.

Les marques doivent être formées de lettres majuscules suivies ou, si nécessaire, précédées de chiffres.

10.1.2 Marques à employer

Les marquages préférentiels des bornes de transformateurs de courant sont donnés dans le tableau 10 qui suit.

Tableau 10 – Marques des bornes

Bornes du primaire		
Bornes du secondaire	Figure 1 – Transformateur à un seul rapport de transformation.	Figure 2 – Transformateur avec une sortie intermédiaire au secondaire.
Bornes du primaire		
Bornes du secondaire	Figure 3 – Transformateur à 2 sections dans l'enroulement primaire, pour montage série-parallèle.	Figure 4 – Transformateurs à 2 enroulements secondaires; chacun sur un noyau magnétique propre. (Deux variantes pour les bornes secondaires.)

10.1.3 Indications relatives à la polarité des bornes

Les bornes marquées P1, S1 et C1 doivent avoir, à tout instant, la même polarité.

10.2 Marquage des plaques signalétiques

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

- le nom du constructeur ou une indication permettant de l'identifier facilement;
- le numéro de série ou l'indication du type ou de préférence les deux;
- le rapport de transformation assigné, sous la forme:

$$K_n = I_{pn} / I_{sn} \text{ A (exemple: } K_n = 100/5 \text{ A);}$$

- la fréquence assignée (exemple: 50 Hz);
- la puissance de précision et la classe de précision correspondante, éventuellement combinées avec des informations complémentaires (voir 11.7 et/ou 12.7);

NOTE – Le cas échéant, l'ordre du circuit secondaire sera indiqué (exemple: 1S, 15 VA, classe 0.5; 2S, 30 VA, classe 1).

- la tension la plus élevée pour le matériel (exemple: 1,2 kV ou 145 kV);

g) le niveau d'isolement assigné (exemple: 6/–kV¹ ou 275/650 kV)

NOTE – Les indications des points f) et g) peuvent être combinées en une seule (on écrira par exemple: 1,2/6/–kV* ou 145/275/650 kV).

Les indications doivent être marquées de façon indélébile sur le transformateur de courant lui-même ou sur une plaque fixée rigidement sur le transformateur.

De plus, les indications suivantes doivent être marquées sur la plaque signalétique, si l'on dispose d'assez de place:

- h) le courant de court-circuit thermique assigné (I_{th}) et le courant dynamique correspondant, si celui-ci diffère de 2,5 I_{th} (par exemple: 13 kA ou 13/40 kA);
- i) la classe d'isolation si elle est autre que la classe A;

NOTE – Si on utilise des isolants de plusieurs classes, on indiquera celui qui limite l'échauffement.

k) pour les transformateurs à deux enroulements secondaires, l'utilisation de chacun de ces enroulements et des bornes correspondantes.

11 Prescriptions complémentaires concernant les transformateurs de courant pour mesures

11.1 Désignation de la classe de précision d'un transformateur de courant pour mesures

La classe de précision d'un transformateur de courant pour mesures est caractérisée par un nombre (indice de classe) égal à la limite supérieure de l'erreur de courant, exprimée en pour-cent, pour le courant primaire assigné et la charge de précision.

11.1.1 Classes de précision normales

Les classes de précision normales des transformateurs de courant pour mesures sont:

0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 3 – 5.

11.2 Limites de l'erreur de courant et du déphasage des transformateurs de courant pour mesures

Pour les transformateurs des classes de précision 0,1 – 0,2 – 0,5 et 1, l'erreur de courant et le déphasage, à la fréquence assignée, ne doivent pas dépasser les valeurs du tableau 11, lorsque la charge secondaire est comprise entre 25 % et 100 % de la charge de précision.

Pour les transformateurs de courant pour applications particulières (spécialement en connexion avec des compteurs d'énergie électrique spéciaux qui mesurent correctement entre 50 mA et 6 A, c'est-à-dire entre 1 % et 120 % du courant assigné 5 A) des classes de précision 0,2 S et 0,5 S, l'erreur de courant et le déphasage, à la fréquence assignée, ne doivent pas dépasser les valeurs du tableau 12 lorsque la charge secondaire est comprise entre 25 % et 100 % de la charge de précision. Ces classes doivent être employées principalement pour les rapports 25/5, 50/5 et 100/5 et leurs multiples décimaux et seulement pour le courant assigné secondaire 5 A.

Pour les transformateurs des classes 3 et 5, l'erreur de courant à la fréquence assignée ne doit pas dépasser les valeurs du tableau 13 lorsque la charge secondaire est comprise entre 50 % et 100 % de la charge de précision.

¹ Un tiret indique l'absence de tension d'essai aux ondes de choc.

Dans tous les cas, la charge employée doit être inductive avec un facteur de puissance de 0,8, sauf si elle absorbe une puissance inférieure à 5 VA; dans ce cas, son facteur de puissance sera l'unité. En aucun cas, la charge ne doit être inférieure à 1 VA.

NOTE – En général, les limites prescrites pour l'erreur de courant et le déphasage sont valables pour n'importe quelle position d'un conducteur externe placé à une distance dans l'air non inférieure à celle qui est requise pour l'isolement dans l'air correspondant à la tension la plus élevée pour le matériel (U_m).

Il convient que les conditions spéciales d'application, y compris les gammes basses de tension de service associées à des valeurs élevées de courant, fassent l'objet d'un accord séparé entre le constructeur et l'acheteur.

Tableau 11 – Limites de l'erreur de courant et du déphasage des transformateurs de courant pour mesures (classes de 0.1 à 1)

Classe de précision	Erreur de courant (rapport) en pour-cent, \pm , pour les valeurs du courant exprimées en pour-cent du courant assigné				Déphasage, \pm , pour les valeurs du courant exprimées en pour-cent du courant assigné							
					Minutes				Centiradians			
					5	20	100	120	5	20	100	120
0.1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0.2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0.5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
1.0	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

Tableau 12 – Limites de l'erreur de courant et du déphasage des transformateurs de courant pour mesures pour applications particulières

Classe de précision	Erreur de courant (rapport) en pour-cent, \pm , pour les valeurs du courant exprimées en pour-cent du courant assigné					Déphasage, \pm , pour les valeurs du courant exprimées en pour-cent du courant assigné									
						Minutes					Centiradians				
						1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0.2 S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3	0,3
0.5 S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9	0,9

NOTE – Ce tableau est applicable uniquement à des transformateurs dont le courant secondaire assigné est égal à 5 A

Tableau 13 – Limites de l'erreur de courant des transformateurs de courant pour mesures (classes 3 et 5)

Classe de précision	Erreur de courant (rapport) en pour-cent, \pm , pour les valeurs du courant exprimées en pour-cent du courant assigné	
	50	120
3	3	3
5	5	5

Il n'est imposé aucune limite de déphasage pour les classes 3 et 5.

11.3 Transformateurs à gamme étendue

Un transformateur de courant des classes 0.1 à 1 sera considéré comme possédant une gamme étendue en courant, s'il satisfait aux deux conditions suivantes:

- a) son courant d'échauffement est porté à la valeur indiquée comme limite de la gamme étendue en courant, laquelle est exprimée en pour-cent du courant primaire assigné;
- b) dans le tableau 11, la valeur supérieure du courant est remplacée par la limite précitée, au cas où celle-ci diffère des 120 % du courant primaire assigné.

Les valeurs normales des courants d'échauffement pour les transformateurs à gamme étendue sont 120 %, 150 % et 200 % du courant primaire assigné.

11.4 Essais de type concernant la précision des transformateurs de courant pour mesures

Les essais de type destinés à prouver la conformité des transformateurs de classes de précision 0.1 à 1 aux prescriptions de 11.2 doivent être exécutés pour toutes les valeurs indiquées dans le tableau 11 avec les charges de 25 % et de 100 % de la charge de précision (sous la réserve du minimum de 1 VA).

Pour les transformateurs à gamme étendue, les essais prévus au tableau 11 pour 120 % doivent être exécutés au courant d'échauffement.

Pour les transformateurs de classes 3 et 5, les essais doivent être exécutés pour les deux valeurs de courant du tableau 13 avec les charges 50 % et 100 % de la charge assignée (sous la réserve du minimum de 1 VA).

11.5 Essais individuels concernant la précision des transformateurs de courant pour mesures

Les essais individuels sont en principe les mêmes que les essais de type prévus en 11.4; ils pourront toutefois être effectués avec un nombre réduit de courants et/ou de charges, s'il résulte d'un essai de type sur un modèle analogue que ce nombre suffit pour conclure que le transformateur satisfait aux conditions de 11.2.

11.6 Facteur de sécurité assigné

Un essai de type peut être fait par l'essai indirect suivant:

- le circuit primaire étant ouvert, une tension pratiquement sinusoïdale, de valeur efficace égale à la f.é.m. limite secondaire et de fréquence assignée, est appliquée aux bornes de l'enroulement secondaire.

Le courant d'excitation (I_{exc}) ainsi obtenu, exprimé en pour-cent du produit du courant secondaire assigné (I_{sn}) par le facteur de sécurité FS , doit être égal ou supérieur à l'erreur composée assignée de 10 %:

$$\frac{I_{exc}}{I_{sn} FS} \times 100 \geq 10$$

Au cas où ce résultat de mesurage serait mis en question, un mesurage de contrôle doit être effectué par l'essai direct (voir annexe A), dont le résultat est alors obligatoire.

NOTE – L'essai indirect présente le grand avantage de ne nécessiter ni la mise en œuvre de courants de valeurs élevées (par exemple 30 000 A dans le cas où le courant primaire assigné et le facteur de sécurité pour les appareils de mesure sont respectivement égaux à 3000 A et à 10), ni celle de dispositifs de charge conçus pour pouvoir supporter un courant de 50 A. Avec l'essai indirect, l'effet dû aux conducteurs primaires de retour n'intervient pas physiquement. En service, cet effet ne peut qu'augmenter l'erreur composée, ce qui est souhaitable pour la sécurité de l'appareil alimenté par le transformateur de mesure.

11.7 Marquage de la plaque signalétique d'un transformateur pour mesures

La plaque signalétique doit porter les indications appropriées de 10.2.

La classe de précision et le facteur de sécurité (pour les appareils de mesure) doivent être mentionnées à la suite de l'indication de la puissance de précision correspondante (par exemple: 15 VA classe 0.5 FS 10).

Pour les transformateurs de courant à gamme étendue (voir 11.3), la limite de la gamme des courants doit être marquée à la suite de la classe de précision (exemple: 15 VA classe 0.5 ext. 150 %).

NOTE – On peut marquer sur la plaque signalétique des indications concernant diverses combinaisons de puissance de précision et de classe de précision auxquelles le transformateur peut satisfaire (exemple: 15 VA classe 0.5 – 30 VA classe 1) (autre exemple qui tient compte de la note de 4.4: 15 VA classe 1 – 7 VA classe 0.5).

12 Prescriptions complémentaires concernant les transformateurs de courant pour protection

12.1 Valeurs normales des facteurs limites de précision

Les valeurs normales des facteurs limites de précision sont:

5 – 10 – 15 – 20 – 30.

12.2 Classes de précision d'un transformateur de courant pour protection

12.2.1 Classe de précision

La classe de précision d'un transformateur de courant pour protection est caractérisée par un nombre (indice de classe) et par la lettre «P» (initiale de protection). L'indice de classe indique la limite supérieure de l'erreur composée pour le courant limite de précision assigné et la charge de précision.

12.2.2 Classes de précision normales

Les classes de précision normales des transformateurs de courant pour protection sont:

5P et 10P.

12.3 Limites des erreurs des transformateurs de courant pour protection

Pour la puissance de précision et la fréquence assignée, l'erreur de courant, le déphasage et l'erreur composée ne doivent pas dépasser les valeurs du tableau 14.

Pour la détermination de l'erreur de courant et du déphasage, la charge doit être inductive et égale à la charge de précision avec un facteur de puissance égal à 0,8, sauf si la puissance correspondante est inférieure à 5 VA; dans ce cas, la charge pourrait être résistive (facteur de puissance unité).

Pour la détermination de l'erreur composée, le facteur de puissance de la charge peut être compris entre 0,8 (circuit inductif) et l'unité, au choix du constructeur.

Tableau 14 – Limites des erreurs des transformateurs de courant pour protection

Classe de précision	Erreur de courant pour le courant primaire assigné en %	Déphasage pour le courant primaire assigné		Erreur composée pour le courant limite de précision en %
		minutes	centiradians	
5P	± 1	± 60	$\pm 1,8$	5
10P	± 3	–	–	10

12.4 Erreur de courant et du déphasage – Essais de type et essais individuels des transformateurs de courant pour protection

Les essais doivent être effectués pour le courant primaire assigné et la charge de précision afin de vérifier que les prescriptions de 12.3 sont remplies en ce qui concerne l'erreur de courant et le déphasage.

12.5 Erreur composée – Essais de type

a) Les essais de type destinés à prouver la conformité des transformateurs aux indications du tableau 14 en ce qui concerne l'erreur composée doivent être exécutés par une méthode directe en faisant passer dans l'enroulement primaire un courant pratiquement sinusoïdal égal en valeur efficace au courant limite de précision assigné, le secondaire étant connecté à une charge de valeur égale à la charge de précision avec un facteur de puissance compris entre 0,8 (circuit inductif) et l'unité, au choix du constructeur (voir annexe A).

L'essai de type pourra être effectué sur un transformateur de construction analogue à celle du transformateur fourni sauf que son isolation peut être réduite pourvu que la disposition géométrique soit la même dans les deux cas.

NOTE – Dans le cas de courants primaires très élevés et de transformateurs dont la primaire se réduit à une seule barre, il convient de choisir la distance du conducteur de retour du primaire choisie de façon à reproduire autant que possible les conditions de service.

b) Pour les transformateurs dont le circuit magnétique a la forme d'un tore, sur lequel l'enroulement secondaire est réparti uniformément, le primaire étant formé, soit d'un conducteur placé suivant l'axe du tore, soit d'un enroulement réparti uniformément sur le tore, on peut remplacer l'essai direct par l'essai indirect à vide suivant, pourvu que l'effet du courant primaire de retour soit négligeable.

Le circuit primaire étant ouvert, une tension pratiquement sinusoïdale de valeur efficace égale à la f.é.m. limite secondaire et de fréquence assignée est appliquée aux bornes de l'enroulement secondaire.

Le courant d'excitation ainsi obtenu, exprimé en pour-cent du produit du courant secondaire assigné par le facteur limite de précision, ne doit pas dépasser la limite de l'erreur composée indiquée au tableau 14.

NOTES

1 Dans le calcul de la f.é.m. limite secondaire, on peut admettre que l'impédance de l'enroulement secondaire soit égale à sa résistance à la température de 75 °C.

2 Lors de la détermination de l'erreur composée par la méthode indirecte, il n'est pas nécessaire de tenir compte d'une éventuelle différence entre le rapport d'enroulement et le rapport de transformation assigné.

12.6 Erreur composée – Essais individuels

Pour les transformateurs considérés au point b) de 12.5, les essais individuels seront les mêmes que les essais de type.

Pour les autres transformateurs, un essai indirect à vide peut également être effectué mais il y a lieu d'appliquer aux résultats obtenus un facteur de correction résultant d'un essai comparatif entre le méthode précédente et la méthode directe appliquée à un transformateur de même type que le transformateur considéré, placé dans les mêmes conditions de charge et de facteur limite de précision (voir note 2).

Un certificat donnant les résultats de l'essai comparatif devrait pouvoir être obtenu du constructeur.

NOTES

1 Le facteur de correction est égal au rapport des erreurs composées obtenues respectivement par les méthodes directe et indirecte indiquées au point a) de 12.5. Dans le second cas, l'erreur composée est donnée par le courant d'excitation mesuré, exprimé en pour-cent du produit du courant secondaire assigné par le facteur limite de précision.

2 L'expression implique que les ampères-tours soient les mêmes, indépendamment du rapport de transformation, et que les noyaux aient les mêmes dimensions et soient constitués des mêmes matériaux magnétiques.

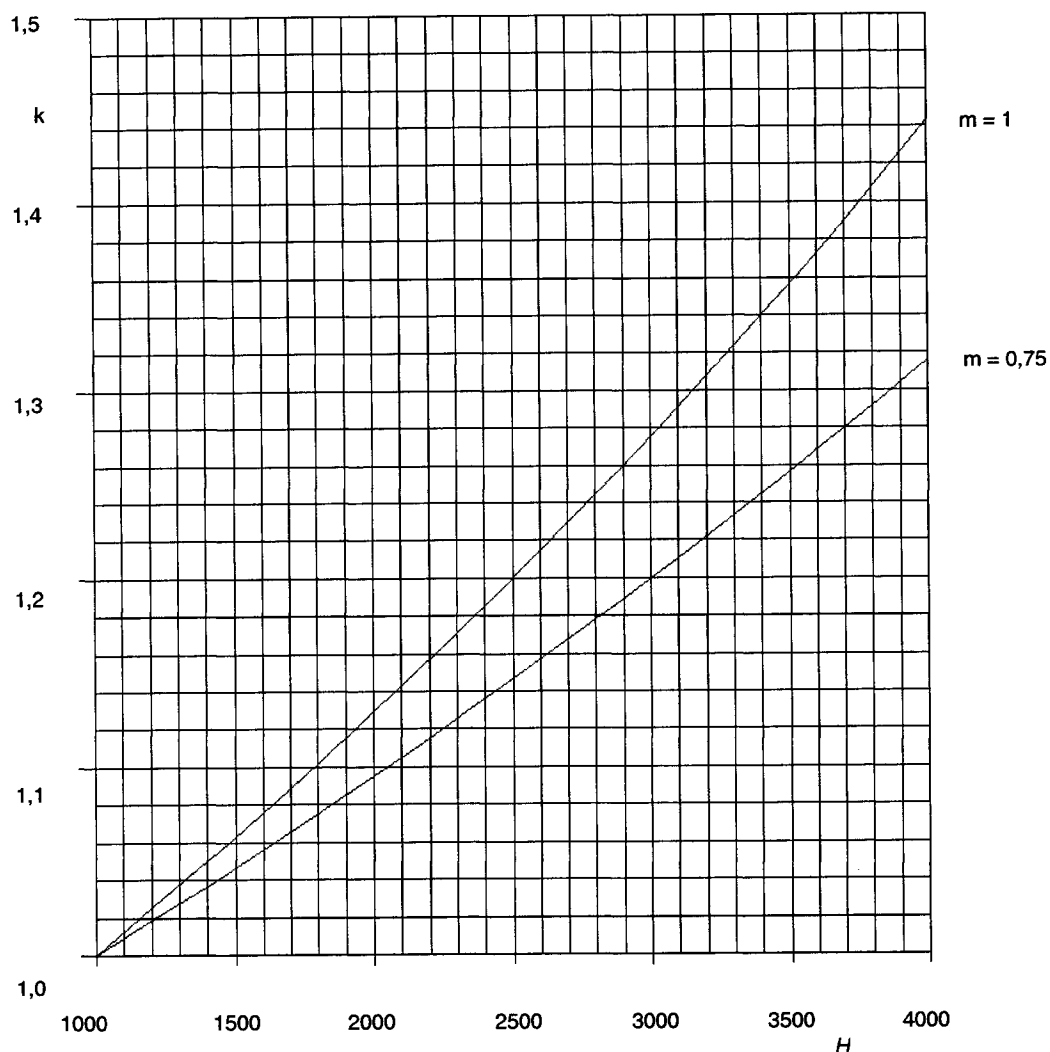
12.7 Marquage de la plaque signalétique d'un transformateur pour protection

La plaque signalétique doit porter les indications appropriées de 10.2 auxquelles on doit ajouter le facteur limite de précision, qui sera inscrit à la suite de la puissance et de la classe de précision (exemple: 30 VA classe 5P 10).

NOTE – On peut marquer sur la plaque signalétique d'un transformateur de courant les diverses combinaisons de puissances de précision et de classes de précision et, le cas échéant, de facteur limite de précision assigné auxquelles le transformateur peut satisfaire, soit comme transformateur pour mesure, soit comme transformateur pour protection.

Exemple:

(15 VA classe 0.5)	ou (15 VA classe 0.5)
(30 VA classe 1)	(15 VA classe 1, ext. 150 %)
(30 VA classe 5P 10)	(15 VA classe 5P 20)



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

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

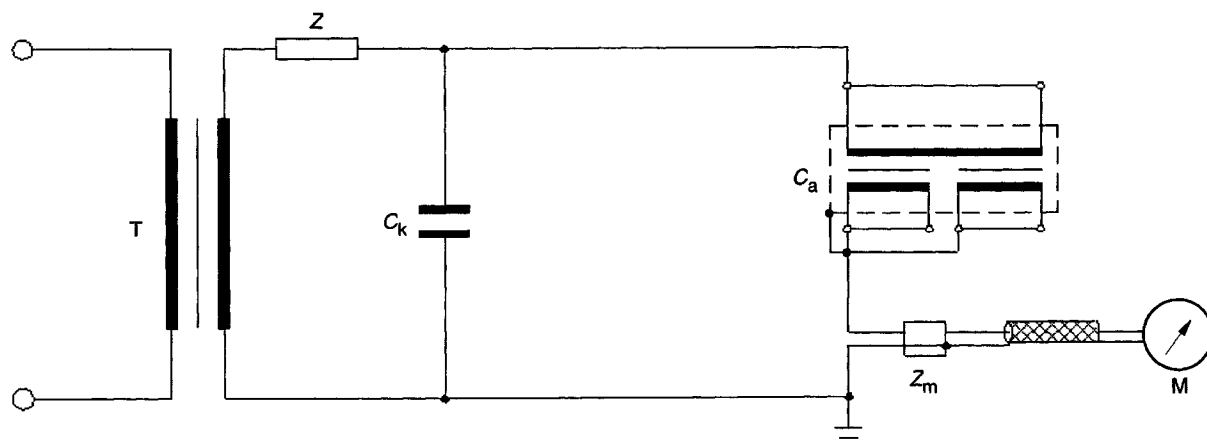
où

H est l'altitude en mètres;

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

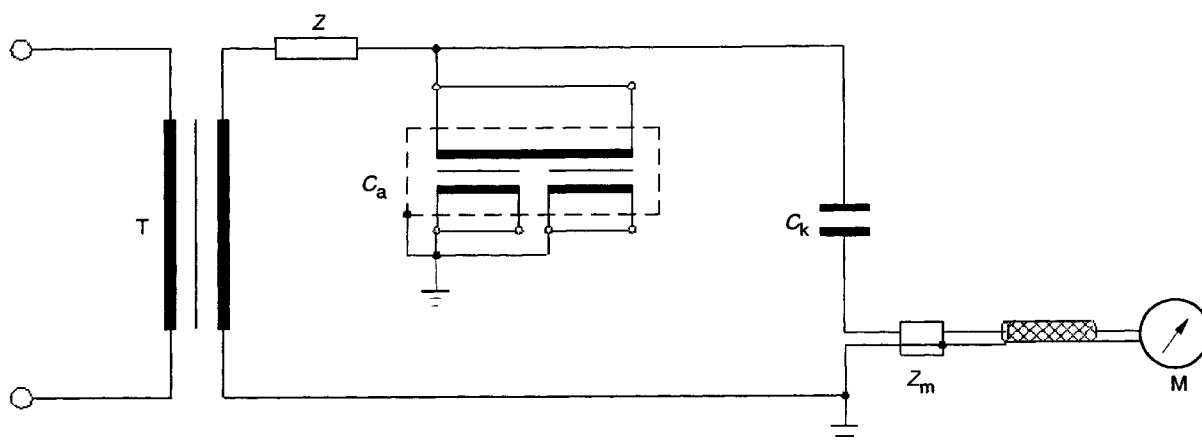
$m = 0,75$ pour la tension de choc de manoeuvre.

Figure 1 – Facteurs correctifs pour l'altitude



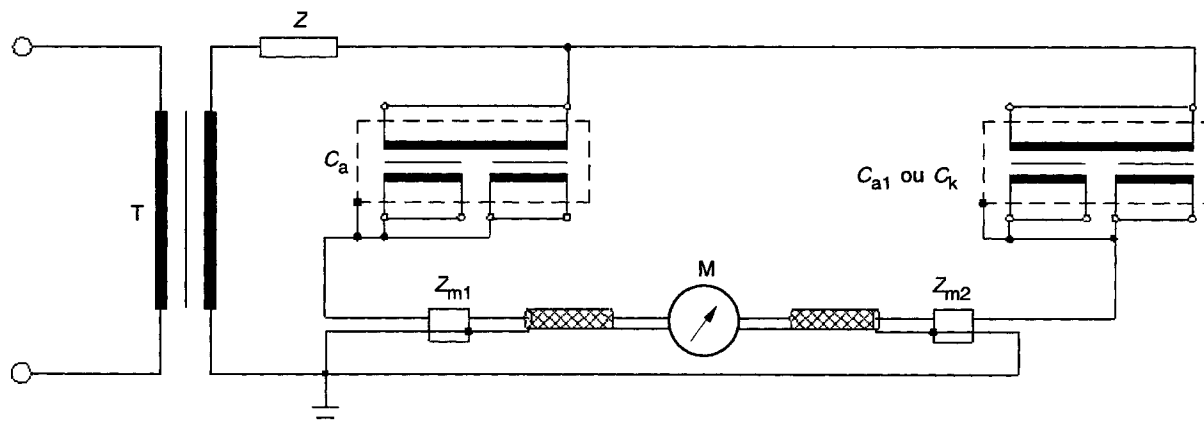
T	transformateur d'essai
C_a	transformateur de mesure à essayer
C_k	condensateur de couplage
M	appareil de mesure de décharges partielles
Z_m	impédance de mesure
Z	filtre (absent si C_k est la capacité du transformateur d'essai)

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



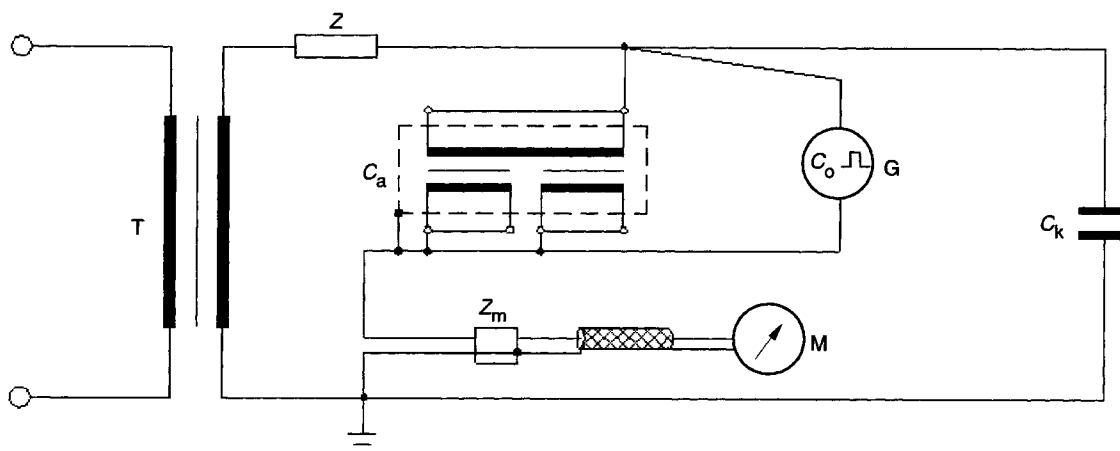
Symboles comme sur la figure 2

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



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

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



Symboles comme sur la figure 2

G générateur de choc avec capacité C_0

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

Annexe A (normative)

Transformateurs de courant pour protection

A.1 Diagramme vectoriel

Si l'on admet que le transformateur de courant ainsi que sa charge puissent être assimilés à un système électromagnétique linéaire, un courant primaire de forme sinusoïdale déterminera des courants, tensions et flux qui seront également sinusoïdaux, et le fonctionnement du transformateur pourra se représenter par le diagramme vectoriel de la figure A.1.

Dans cette figure, I_s représente le courant secondaire. Il traverse l'enroulement et la charge secondaire et détermine en grandeur et phase la force électromotrice E_s qui doit être induite dans l'enroulement secondaire, laquelle à son tour détermine le flux Φ en quadrature sur E_s . Le flux est produit par les ampères-tours résultant des enroulements primaire et secondaire ou de façon équivalente par le courant d'excitation secondaire I_e , lui-même somme vectorielle d'un courant magnétisant I_m parallèle à Φ et d'une composante active I_a , (répondant aux pertes) parallèle à E_s . La somme vectorielle des courants I_s et I_e est le vecteur I_p'' qui représente le courant primaire divisé par le rapport d'enroulement (c'est-à-dire par le rapport entre les nombres de spires secondaires et primaires).

Il en résulte que pour un transformateur dont le rapport d'enroulement est égal au rapport de transformation assigné, la différence entre les longueurs des vecteurs I_s et I_p'' rapportées à I_p'' fournit l'erreur de courant (telle que définie en 2.1.10) tandis que l'écart angulaire δ entre les vecteurs I_s et I_p'' est le déphasage (défini en 2.1.11).

A.2 Correction de spires

Lorsque le rapport d'enroulement est différent du rapport de transformation assigné (le premier est généralement plus petit) on dit qu'il y a une correction de spires. Il importe alors d'établir une distinction entre I_p'' , le courant primaire divisé par le rapport d'enroulement et I_p' , le courant primaire divisé par le rapport de transformation assigné. L'absence d'une correction de spires signifie que $I_p' = I_p''$. S'il existe une correction de spires, I_p' est différent de I_p'' et on voit facilement que la correction de spires influe sur l'erreur de courant (et peut être utilisée à cet effet), étant donné que I_p'' figure dans le diagramme vectoriel et I_p' intervient pour la détermination de l'erreur de courant. Cependant, les vecteurs I_p' et I_p'' ayant la même direction, la correction de spires n'affecte pas le déphasage.

Il apparaît aussi que l'influence de la correction de spires est plus faible sur l'erreur composée que sur l'erreur de courant.

A.3 Triangle d'erreur

Si l'on admet que l'angle δ est assez petit pour qu'on puisse considérer que les vecteurs I_s et I_p'' sont parallèles, on peut remplacer l'arc de cercle de rayon I_s , par la perpendiculaire abaissée du sommet de I_s sur I_p'' . On obtient alors la disposition de la figure A.2, qui représente à grande échelle la partie utile de la figure A.1 en l'absence de correction de spires. On peut alors, avec une approximation suffisante, se servir, pour déterminer l'erreur de courant, de la composante (ΔI) de I_e en phase avec I_p'' , à la place de la différence arithmétique entre I_p'' et I_s , et de la composante (ΔI_q) de I_e , en quadrature pour exprimer le déphasage.

Avec les mêmes hypothèses, l'erreur composée (voir 2.1.31) est donnée par le rapport à I_p'' du courant d'excitation I_e .

En définitive, pour un transformateur de courant sans correction de spires, pourvu que la représentation vectorielle soit valable, l'erreur de rapport, le déphasage et l'erreur composée peuvent être représentés par les trois côtés d'un triangle rectangle.

Dans ce triangle, l'hypoténuse qui représente l'erreur composée dépend de l'impédance totale du circuit secondaire (somme géométrique de l'impédance de la charge secondaire et de celle de l'enroulement secondaire) tandis que la décomposition en erreur de courant et en déphasage dépend du facteur de puissance de cette impédance totale et de celui du courant d'excitation. Le déphasage est d'autant plus petit que le facteur de puissance de la charge totale se rapproche de la valeur (d'autant plus petite que les pertes dans le fer sont plus faibles) qui fait coïncider les phases des courants I_s et I_e .

A.4 Erreur composée

La considération de l'erreur composée est surtout intéressante dans le cas où la représentation vectorielle n'est pas applicable du fait de la présence d'harmoniques dans le courant secondaire et dans le courant d'excitation (voir figure A.3).

C'est la raison pour laquelle l'erreur composée est définie au 2.1.31 par une formule valable, quelle que soit la forme des courants, et non pas par la simple somme vectorielle de l'erreur de rapport et de déphasage comme le montre la figure A.2.

Il en résulte également que l'erreur composée englobe l'effet propre de la présence d'harmoniques dans le courant secondaire, alors que le courant primaire en est exempt, présence d'harmoniques qui constitue déjà par elle-même un écart dans le comportement de l'appareil par rapport à un transformateur de courant idéal (le courant primaire est toujours supposé sinusoïdal dans la présente norme).

A.5 Mesure de l'erreur composée par une méthode directe

La figure A.4, représente le schéma de principe de la méthode de mesure directe pour un transformateur dont le rapport d'enroulement est égal à l'unité. La source est supposée fournir un courant primaire sinusoïdal et l'enroulement secondaire (relié à la charge Z_B qui a des caractéristiques linéaires) est raccordé de telle manière que l'ampèremètre A est traversé par la différence des courants primaire et secondaire. La valeur efficace que cet appareil mesure est donc celle du courant d'excitation, et son rapport (exprimé en pour-cent) à la valeur efficace du courant primaire fournit l'erreur composée telle que définie au 2.1.31, compte tenu des conditions actuelles.

La figure A.4 représente donc le schéma de principe pour la mesure directe de l'erreur composée.

La figure A.5, représente le schéma de principe de la méthode de mesure directe étendu au cas d'un transformateur de rapport de transformation différent de l'unité. Dans ce schéma, N est un transformateur de même rapport de transformation assigné que le transformateur X essayé. Ce transformateur N doit avoir une erreur composée négligeable dans les conditions de l'essai (sa charge se réduit pratiquement à l'ampèremètre A_1). Le transformateur X est raccordé à sa charge assignée Z_B et les enroulements secondaires de N et de X sont branchés de telle sorte que l'ampèremètre A_2 mesure la différence de leurs courants.

Les deux circuits primaires sont alimentés par la même source de courant sinusoïdal. Dans ces conditions, le rapport (exprimé en pour-cent) de la valeur efficace du courant mesuré par l'ampèremètre A_2 à celle mesurée par l'ampèremètre A_1 fournit l'erreur composée du transformateur X.

Il est à remarquer que le caractère négligeable de l'erreur composée de N est requis dans cette méthode. Il n'est en effet pas suffisant que cette erreur composée soit connue car du fait

même de sa complexité (notamment du fait des déformations d'onde) les corrections voulues ne pourraient pas être apportées.

A.6 Autre méthode de mesure directe de l'erreur composée

D'autres méthodes directes de détermination de l'erreur composée peuvent être utilisées.

La méthode schématiquement représentée par la figure A.6, présente sur celle illustrée par la figure A.5 l'avantage de ne pas exiger l'emploi d'un transformateur de précision spécial. Dans cette méthode en effet, le transformateur N, de même rapport que X, doit présenter une erreur composée négligeable sous le courant limite de précision assigné du transformateur X tandis que la méthode représentée par la figure A.5 ne soumet les transformateurs de précision N et N' qu'à des courants de l'ordre de leurs courants assignés. Il reste bien entendu essentiel que leurs erreurs composées soient négligeables dans les conditions de l'essai mais l'exigence devient plus facile à satisfaire.

Dans la figure A.6, N est un transformateur de précision dont le courant primaire assigné est choisi voisin du courant limite de précision assigné du transformateur X (c'est-à-dire de la valeur du courant primaire sous lequel l'essai doit être entrepris). L'appareil N' est un transformateur de précision dont le courant primaire assigné doit être de l'ordre de grandeur du courant secondaire de X correspondant au courant (primaire) limite de précision assigné. Il ne faut pas perdre de vue que ce transformateur N' fait partie intégrante de la charge Z_B du transformateur X et qu'il faut donc en tenir compte lors de la détermination de l'impédance Z'_B . A_1 et A_2 sont deux ampèremètres et il y a lieu de s'assurer que A_2 mesure bien la différence des courants secondaires des transformateurs N et N'.

Si les rapports de transformation assignés des transformateurs N, N' et X sont respectivement désignés par K_n , K'_n et K_{nx} , le rapport K_n doit être égal au produit des deux autres:

$$K_n = K'_n \times K_{nx}$$

Dans ces conditions, le rapport (exprimé en pour-cent) des valeurs efficaces des courants mesurés par les ampèremètres A_1 et A_2 fournit l'erreur composée du transformateur X.

NOTE – Lors de l'utilisation des circuits de mesure illustrés par les figures A.5 et A.6, il y a lieu de veiller à ce que la puissance absorbée par l'ampèremètre A_2 reste suffisamment faible. La chute de tension sur cet ampèremètre (divisée par le rapport de transformation du transformateur N' dans le cas de la figure A.6) vient en effet se composer avec la tension sur la charge Z_B et modifie en conséquence la charge effective du transformateur X (elle tend en fait à la réduire). Par ailleurs, cette même chute de tension sur A_2 représente un accroissement de la charge effective du transformateur N.

A.7 Emploi de l'erreur composée

L'erreur composée sera toujours supérieure ou égale à la racine carrée de la somme des carrés de l'erreur de courant et du déphasage (ce dernier étant exprimé en centiradians).

Il en résulte que l'erreur composée est toujours une limite supérieure aussi bien de l'erreur de courant que du déphasage.

L'erreur de courant intéresse surtout les relais de surcharge; les déphasages intéressent surtout les relais sensibles à la phase (exemple: les relais directionnels).

Dans le cas des relais différentiels, c'est la combinaison des erreurs composées des transformateurs qui doit être prise en considération.

Un avantage supplémentaire de la limitation de l'erreur composée est la limitation résultante de la distorsion du courant secondaire, ce qui constitue une exigence de bon fonctionnement pour certains relais.

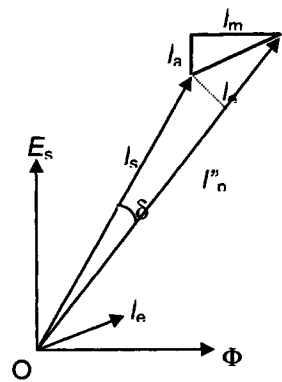


Figure A.1

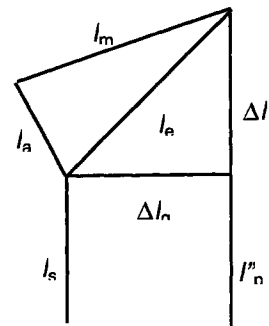


Figure A.2

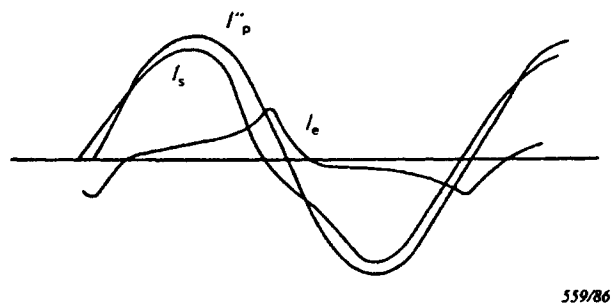


Figure A.3

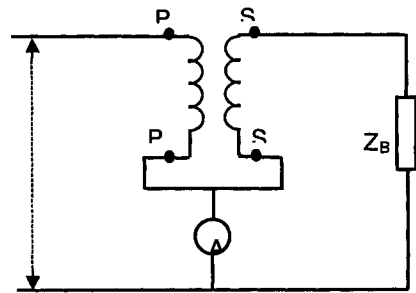


Figure A.4

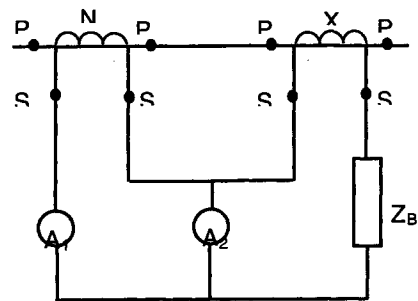


Figure A.5

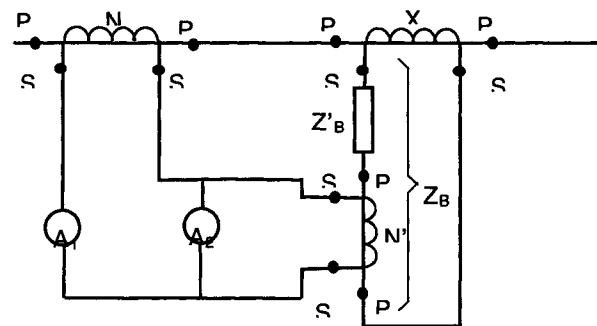


Figure A.6

Annexe B **(informative)**

Essai de chocs coupés multiples

L'essai doit être effectué avec des chocs de polarité négative coupés près de la crête.

La durée conventionnelle de la chute de tension, mesurée conformément à la CEI 60-1, doit être d'environ 0,5 μ s. Le circuit doit être tel que l'amplitude de l'oscillation de polarité opposée du choc enregistré soit de l'ordre de 50 % de la valeur de crête.

Il convient que la valeur de crête de la tension soit d'environ 60 % de la tension de tenue assignée au choc de foudre.

Au moins 100 chocs sont nécessaires pour mettre les défaillances en évidence. Ils doivent être appliqués à la cadence d'environ un choc par minute.

Des analyses des gaz dissous dans l'huile du transformateur doivent être effectuées avant l'essai et trois jours après l'essai.

Il convient que les critères d'évaluation des résultats soient basés sur la quantité et la composition des gaz produits (rapport des quantités des gaz significatifs) mais aucune valeur ne peut être présentement donnée. Des quantités relativement élevées de H₂ et de C₂ H₂ sont indicatrices de défauts.

La procédure d'échantillonnage de l'huile peut être celle donnée dans la CEI 567.

La procédure d'analyse et des bases pour les diagnostics de défaut peuvent être fondées sur la CEI 599.

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 ²⁾	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 60121	1960	Recommandation concernant les fils en aluminium recuit industriels pour conducteurs électriques	-	-
CEI 60270	1981	Mesure des décharges partielles	-	-
CEI 60567	1992	Guide d'échantillonnage de gaz et d'huile dans les matériels électriques immergés, pour l'analyse des gaz libres ou dissous	EN 60567	1992

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

<u>Publication</u>	<u>Année</u>	<u>Titre</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Année</u>
CEI 60599	1978	Interprétation de l'analyse des gaz dans les transformateurs et autres matériels électriques remplis d'huile, en service	HD 397 S1 ³⁾	1979
CEI 60721	série	Classification des conditions d'environnement	EN 60721 HD 478.2	série série
CEI 60815	1986	Guide pour le choix des isolateurs sous pollution	-	-

³⁾ Le HD 397 S2 est remplacé par la EN 60599:1999, basée sur la CEI 60599:1999.