

NF C42-569-2, NF EN 61869-2

Mai/May 2013

www.afnor.org

Ce document est à usage exclusif et non collectif des clients PERSONAL WEBPORT
Toute mise en réseau, reproduction et rediffusion, sous quelque forme que ce soit,
même partielle, sont strictement interdites.

This document is intended for the exclusive and non collective use of
PERSONAL WEBPORT (Standards on line) customers. All network exploitation,
reproduction and re-dissemination, even partial, whatever the form
(harcopy or media), is strictly prohibited.



**DOCUMENT PROTÉGÉ
PAR LE DROIT D'AUTEUR**

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans accord formel.

Contacteur :
AFNOR – Norm'Info
11, rue Francis de Pressensé
93571 La Plaine Saint-Denis Cedex
Tél : 01 41 62 76 44
Fax : 01 49 17 92 02
E-mail : norminfo@afnor.org

afnor

PERSONAL WEBPORT
Pour/For VINCI ENERGIES
Client/Customer 03610200
Le/The 17/12/2015 à/at 13:45

Diffusé avec l'autorisation de l'éditeur

Distributed under licence of the publisher

norme européenne

NF EN 61869-2

Mai 2013

norme française

Indice de classement : **C 42-569-2**

ICS : 17.220.20

Transformateurs de mesure

Partie 2 : Exigences supplémentaires concernant les transformateurs de courant

E : Instrument transformers -
Part 2: Additional requirements for current transformers

D : Messwandler -
Teil 2: Zusätzliche Anforderungen für Stromwandler

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 24 avril 2013, pour prendre effet à compter du 24 mai 2013.

Remplace les normes homologuées NF EN 60044-1 (C 42-544-1), de novembre 2000 et ses amendements A1, d'octobre 2001, A2 de mai 2003, et la NF EN 60044-6 (C 42-544-6), de juillet 2001, qui restent en vigueur jusqu'en octobre 2015.

Correspondance

La Norme européenne EN 61869-2:2012 a le statut d'une norme française et reproduit intégralement la Norme internationale CEI 61869-2:2012.

Analyse

Le présent document s'applique aux transformateurs inductifs de courant fabriqués au moment de sa publication et destinés à être utilisés avec des appareils de mesure électriques et/ou des dispositifs électriques de protection présentant une fréquence assignée comprise entre 15 Hz et 100 Hz. Les produits plus anciens entraient dans le domaine d'application de la norme NF EN 60044-1 de 2000 ainsi que ses amendements A1 de 2001 et A2 de 2003.

Il doit être lu conjointement avec la NF EN 61869-1 de 2009.

Le présent document entre dans le champ d'application de la Directive Basse Tension n° 2006/95/CE du 12/12/2006 et de la Directive Compatibilité Electromagnétique n°2004/108/CE du 15/12/2004.

Descripteurs

Matériel électrique, appareil de mesure électrique, transformateur de mesure, transformateur de courant, définition, conception, niveau d'isolement, degré de protection, compatibilité électromagnétique, mise à la terre électrique, essai, classification, essai de type, essai individuel, essai au choc électrique, essai d'échauffement, essai de court-circuit, essai de surtension, essai mécanique, essai d'étanchéité, marquage, plaque signalétique, précision, résistance à la corrosion.

Modifications

Par rapport aux documents remplacés, le présent document introduit des innovations techniques dans la normalisation et l'adaptation des exigences des transformateurs de courant pour réponse en régime transitoire.

Corrections

AVANT-PROPOS NATIONAL

Ce document constitue la version française complète de la norme européenne EN 61869-2:2012 qui reproduit le texte de la publication CEI 61869-2:2012.

Les modifications du CENELEC (dans le présent document, l'annexe ZA uniquement) sont signalées par un trait vertical dans la marge gauche du texte.

Cette Norme Française fait référence à des Normes internationales. Quand une Norme internationale citée en référence a été entérinée comme Norme Européenne, ou bien quand une norme d'origine européenne existe, la Norme Française issue de cette Norme Européenne est applicable à la place de la Norme internationale.

L'Union Technique de l'Électricité a voté favorablement au CENELEC sur le projet d'EN 61869-2, le 13 juillet 2012.

NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD

EN 61869-2

Novembre 2012

ICS 17.220.20

Remplace EN 60044-1:1999 + A1:2000 + A2:2003, EN 60044-6:1999

Version française

**Transformateurs de mesure -
Partie 2: Exigences supplémentaires concernant les transformateurs de
courant
(CEI 61869-2:2012)**

Messwandler -
Teil 2: Zusätzliche Anforderungen für
Stromwandler
(IEC 61869-2:2012)

Instrument transformers -
Part 2: Additional requirements for current
transformers
(IEC 61869-2:2012)



La présente Norme Européenne a été adoptée par le CENELEC le 2012-10-23. 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 CEN-CENELEC Management Centre 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 CEN-CENELEC Management Centre, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CENELEC sont les comités électrotechniques nationaux des pays suivants: Allemagne, Ancienne République yougoslave de Macédoine, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse et Turquie.

CENELEC

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

Management Centre: Avenue Marnix 17, B - 1000 Bruxelles

Avant-propos

Le texte du document 38/435/FDIS, future édition 1 de la CEI 61869-2, préparé par le CE 38 de la CEI, "Transformateurs de mesure", a été soumis au vote parallèle CEI-CENELEC et approuvé par le CENELEC en tant que EN 61869-2:2012.

Les dates suivantes sont fixées :

- date limite à laquelle ce document (dop) 2013-07-23 doit être mis en application au niveau national par publication d'une norme nationale identique ou par entérinement
- date limite à laquelle les normes (dow) 2015-10-23 nationales conflictuelles doivent être annulées

Ce document remplace l'EN 60044-1:1999 + A1:2000 + A2:2003 et l'EN 60044-6:1999

De plus, elle introduit des innovations techniques dans la normalisation et l'adaptation des exigences des transformateurs de courant pour réponse en régime transitoire.

La présente Partie 2 doit être utilisée conjointement avec l'EN 61869-1:2009, *Exigences générales*, sur laquelle elle est basée. Le lecteur est toutefois encouragé à utiliser l'édition la plus récente de la norme.

Cette Partie 2 suit la structure de l'EN 61869-1:2009 et complète ou modifie ses articles correspondants.

Lorsqu'un article/paragraphe particulier de la Partie 1 n'est pas mentionné dans cette Partie 2, cet article/paragraphe s'applique. Lorsque la présente norme indique un «complément», une «modification» ou un «remplacement», le texte correspondant de la Partie 1 doit être adapté en conséquence.

Pour les articles, paragraphes, figures, tableaux, annexes ou notes supplémentaires, le système de numérotation suivant est utilisé:

- les articles, paragraphes, tableaux, figures et notes numérotés à partir de 201 s'ajoutent à ceux de la Partie 1;
- les annexes supplémentaires sont désignées 2A, 2B, etc.

L'Annexe ZZ de l'EN 61869-1 ne s'applique pas à cette partie de la série.

Une vue globale de l'ensemble planifié de normes à la date de publication du présent document est indiquée ci-dessous. La liste à jour des normes publiées par le TC 38 de la CEI est disponible sur le site web: www.iec.ch ; la liste à jour des normes publiées par le TC 38 de la CEI et approuvées par le CENELEC est disponible sur le site web: www.cenelec.



NORMES DE FAMILLES DE PRODUITS		NORME DE PRODUITS	PRODUITS	ANCIENNE NORME
61869-1 EXIGENCES GÉNÉRALES CONCERNANT LES TRANSFORMATEURS DE MESURE	61869-6 EXIGENCES GÉNÉRALES ADDITIONNELLES POUR LES TRANSFORMATEURS DE MESURE ÉLECTRONIQUES ET POUR LES CAPTEURS BAS NIVEAUX	61869-2	EXIGENCES SUPPLÉMENTAIRES CONCERNANT LES TRANSFORMATEURS DE COURANT	60044-1
		61869-3	EXIGENCES SUPPLÉMENTAIRES CONCERNANT LES TRANSFORMATEURS INDUCTIFS DE TENSION	60044-2
		61869-4	EXIGENCES SUPPLÉMENTAIRES CONCERNANT LES TRANSFORMATEURS COMBINÉS	60044-3
		61869-5	EXIGENCES SUPPLÉMENTAIRES CONCERNANT LES TRANSFORMATEURS CONDENSATEURS DE TENSION	60044-5
		61869-7	EXIGENCES SUPPLÉMENTAIRES CONCERNANT LES TRANSFORMATEURS DE TENSION ÉLECTRONIQUES	60044-7
		61869-8	EXIGENCES SUPPLÉMENTAIRES CONCERNANT LES TRANSFORMATEURS DE COURANT ÉLECTRONIQUES	60044-8
		61869-9	INTERFACE NUMÉRIQUE POUR LES TRANSFORMATEURS DE MESURE	
		61869-10	EXIGENCES SUPPLÉMENTAIRES CONCERNANT LES CAPTEURS DE COURANT AUTONOMES DE FAIBLE PUISSANCE	
		61869-11	EXIGENCES SUPPLÉMENTAIRES CONCERNANT LES CAPTEURS DE TENSION AUTONOMES DE FAIBLE PUISSANCE	60044-7
		61869-12	EXIGENCES SUPPLÉMENTAIRES CONCERNANT LES TRANSFORMATEURS DE MESURE ÉLECTRONIQUES COMBINÉS OU LES CAPTEURS AUTONOMES COMBINÉS	
		61869-13	UNITÉ D'INTERFACE NUMÉRIQUE INDÉPENDANTE	

Depuis la publication de l'EN 60044-6 (*Prescriptions concernant les transformateurs de courant pour protection pour la réponse en régime transitoire*) en 1999, le domaine d'application de ce type de transformateurs de courant s'est développé. De ce fait, le contexte théorique du dimensionnement selon les exigences électriques est devenu bien plus complexe. Pour des raisons de lisibilité de la présente norme, l'explication du contexte sera effectuée dans le Rapport technique CEI/TR 61869-100, qui est en cours de rédaction.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. Le CENELEC [et/ou le CEN] ne saurait [sauraient] être tenu[s] pour responsable[s] de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

La présente norme couvre les éléments principaux des objectifs de sécurité pour des équipements électriques conçus pour être utilisés sous certaines limites de tension (DBT - 2006/95/CE).

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	2
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives.....	8
3 Termes et définitions	8
3.1 Définitions générales.....	8
3.3 Définitions relatives aux caractéristiques assignées de courant.....	10
3.4 Définitions relatives à la précision	11
3.7 Index des abréviations	20
5 Caractéristiques assignées.....	22
5.3 Niveaux d'isolement assignés	22
5.5 Puissance de sortie assignée	22
5.6 Classe de précision assignée	23
5.201 Valeurs normales du courant primaire assigné.....	30
5.202 Valeurs normales du courant secondaire assigné	31
5.203 Valeurs normales du courant thermique permanent assigné	31
5.204 Courants de court-circuit assignés.....	31
6 Conception et construction	31
6.4 Exigences relatives à l'échauffement des parties et des composants.....	31
6.13 Marquage	31
7 Essais	35
7.1 Généralités.....	35
7.2 Essais de type	36
7.3 Essais individuels de série.....	40
7.4 Essais spéciaux.....	45
7.5 Essais sur prélèvements.....	46

Annexe 2A (normative) Transformateurs de courant pour protection de classes P et PR	47
Annexe 2B (normative) Classes de transformateurs de courant pour protection pour réponse en régime transitoire	53
Annexe 2C (normative) Preuve de type à faible réactance de fuite.....	71
Annexe 2D (informative) Technique utilisée dans l'essai d'échauffement des transformateurs immergés dans l'huile pour déterminer la constante thermique par estimation expérimentale	72
Annexe 2E (informative) Méthode alternative pour la mesure de l'erreur de rapport (ε)	74
Annexe 2F (normative) Détermination du rapport des nombres de spires.....	76
Annexe ZA (normative) Références normatives à d'autres publications internationales avec les publications européennes correspondantes.....	77
Figure 201 – Cycles de fonctionnement	17
Figure 202 – Constante de temps du primaire T_p	17
Figure 203 – Flux embrassé par l'enroulement secondaire pour des différents angles d'apparition γ du courant de court-circuit.....	19
Figure 2A.1 – Diagramme vectoriel	47
Figure 2A.2 – Triangle d'erreur	48
Figure 2A.3 – Forme d'onde typique	49
Figure 2A.4 – Circuit de base pour transformateur de courant 1: 1.....	50
Figure 2A.5 – Circuit de base pour transformateur de rapport quelconque	50
Figure 2A.6 – Variante de circuit d'essai.....	51
Figure 2B.1 – Courants de court-circuit présentant la crête la plus élevée ($\gamma = 90^\circ$) et présentant une asymétrie inférieure ($\gamma = 140^\circ$)	54
Figure 2B.2 – La courbe $\psi_{\max}(t)$, composée des valeurs de flux les plus élevées, considérant tous les angles d'enclenchement γ appréciables	55
Figure 2B.3 – Plages de temps appropriées pour le calcul du facteur transitoire	56
Figure 2B.4 – Détermination de K_{tf} pour la plage 1 à 50 Hz et $T_s = 1,8$ s	57
Figure 2B.5 – Détermination de K_{tf} pour la plage 1 à 60 Hz et $T_s = 1,5$ s	57
Figure 2B.6 – Détermination de K_{tf} pour la plage 1 à 16,7 Hz et $T_s = 5,5$ s	57
Figure 2B.7 – Limitation du flux magnétique considérant la saturation du noyau	59

Figure 2B.8 – Circuit de base.....	60
Figure 2B.9 – Détermination du facteur de rémanence par cycle d'hystérésis	63
Figure 2B.10 – Circuit pour la méthode en courant continu	63
Figure 2B.11 – Diagrammes temps-amplitude et flux-courrant	64
Figure 2B.12 – Diagramme avec la ligne de zéro déplacée	65
Figure 2B.13 – Circuit utilisé dans la méthode par décharge d'un condensateur	66
Figure 2B.14 – Enregistrements types de la méthode par décharge d'un condensateur	67
Figure 2B.15 – Mesure des courants d'erreur	69
Figure 2D.1 – Extrapolation graphique de l'échauffement final	73
Figure 2E.1 – Circuit équivalent simplifié du transformateur de courant	74
 Tableau 201 – Limites de l'erreur de rapport et du déphasage des transformateurs de courant pour mesure (classes de 0,1 à 1)	 24
Tableau 202 – Limites de l'erreur de rapport (ε) et du déphasage des transformateurs de courant pour mesure pour applications particulières.....	24
Tableau 203 – Limites de l'erreur de rapport des transformateurs de courant pour mesure (classes 3 et 5).....	24
Tableau 204 – Caractéristiques des classes de protection	26
Tableau 205 – Limites d'erreur des transformateurs de courant pour protection des classes P et PR.....	27
Tableau 206 – Limites d'erreur pour les transformateurs de courant de classes TPX, TPY et TPZ.....	29
Tableau 207 – Méthodes de spécification des transformateurs de courant de classes TPX, TPY et TPZ.....	30
Tableau 208 – Marquage des bornes	32
Tableau 10 – Liste des essais.....	35

TRANSFORMATEURS DE MESURE –

Partie 2: Exigences supplémentaires concernant les transformateurs de courant

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique aux transformateurs inductifs de courant fabriqués récemment et destinés à être utilisés avec des appareils de mesure électriques et/ou des dispositifs électriques de protection présentant une fréquence assignée comprise entre 15 Hz et 100 Hz.

2 Références normatives

L'Article 2 de la CEI 61869-1:2007 s'applique, avec les compléments suivants:

CEI 61869-1:2007, *Transformateurs de mesure – Partie 1: Exigences générales.*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions fournis dans la CEI 61869-1:2007 s'appliquent conjointement avec les ajouts suivants:

3.1 Définitions générales

3.1.201

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

[SOURCE: CEI 60050-321:1986, 321-02-01]

3.1.202

transformateur de courant pour mesure

transformateur de courant destiné à transmettre un signal d'information à des appareils de mesure ou à des compteurs

[SOURCE: CEI 60050-321:1986, 321-02-18]

3.1.203

transformateur de courant pour protection

transformateur de courant destiné à transmettre un signal d'information à des dispositifs de protection ou de commande

[SOURCE: CEI 60050-321:1986, 321-02-19)

3.1.204

transformateur de courant pour protection de classe P

transformateur de courant pour protection sans limite de flux rémanent, pour lequel est spécifié un comportement de saturation en cas de court-circuit symétrique

3.1.205

transformateur de courant pour protection de classe PR

transformateur de courant pour protection avec limite de flux rémanent, pour lequel est spécifié un comportement de saturation en cas de court-circuit symétrique

3.1.206

transformateur de courant pour protection de classe PX

transformateur de courant pour protection à faible réactance de fuite sans limite de flux rémanent, pour lequel la connaissance de la caractéristique d'excitation, et de la résistance de l'enroulement secondaire, de la résistance de charge secondaire et du rapport des nombres de spires est suffisante pour évaluer ses performances dans le système de relais de protection auquel il est connecté

3.1.207

transformateur de courant pour protection de classe PXR

transformateur de courant pour protection avec limite de flux rémanent, pour lequel la connaissance de la caractéristique d'excitation, et de la résistance de l'enroulement secondaire, de la résistance de charge secondaire et du rapport des nombres de spires est suffisante pour évaluer ses performances dans le système de relais de protection auquel il est connecté

Note 1 à l'article: On relève de plus en plus de cas où de faibles courants continus traversent constamment les transformateurs de courant. Pour éviter toute saturation, il est recommandé d'utiliser des transformateurs de courant à entrefers, qui offrent les mêmes performances que les transformateurs de courant de classe PX.

Note 2 à l'article: Les entrefers pour la réduction de la rémanence ne conduisent pas forcément à créer un transformateur de courant à forte réactance de fuite (voir Annexe 2C)

3.1.208

transformateur de courant pour protection de classe TPX pour réponse en régime transitoire

transformateur de courant pour protection sans limite de flux rémanent, pour lequel le comportement en cas de saturation au cours d'un court-circuit transitoire est spécifié par la valeur de crête de l'erreur instantanée

3.1.209

transformateur de courant pour protection de classe TPY pour réponse en régime transitoire

transformateur de courant pour protection avec limite de flux rémanent, pour lequel le comportement en cas de saturation au cours d'un court-circuit transitoire est spécifié par la valeur de crête de l'erreur instantanée

3.1.210

transformateur de courant pour protection de classe TPZ pour réponse en régime transitoire

transformateur de courant pour protection avec une constante de temps secondaire spécifiée, pour lequel le comportement en cas de saturation au cours d'un court-circuit transitoire est spécifié par la valeur de crête de la composante alternative de l'erreur

3.1.211

transformateur de courant à rapport de transformation sélectionnable

transformateur de courant qui permet d'obtenir plusieurs rapports de transformation en reconnectant des sections de l'enroulement primaire ou au moyen de prises sur l'enroulement secondaire

3.3 Définitions relatives aux caractéristiques assignées de courant

3.3.201

courant primaire assigné

I_{pr}

valeur du courant primaire d'après laquelle sont déterminées les caractéristiques de fonctionnement d'un transformateur

[SOURCE: CEI 60050-321:1986, 321-01-11, titre, synonyme et définition modifiés]

3.3.202

courant secondaire assigné

I_{sr}

valeur du courant secondaire d'après laquelle sont déterminées les caractéristiques de fonctionnement d'un transformateur

[SOURCE: CEI 60050-321:1986, 321-01-15, titre, synonyme et définition modifiés]

3.3.203

courant de court-circuit thermique assigné

I_{th}

valeur maximale du courant primaire qu'un transformateur supporte sans subir de dommages pendant une courte durée spécifiée, le secondaire étant mis en court-circuit

[SOURCE: CEI 60050-321:1986, 321-02-22]

3.3.204

courant dynamique assigné

I_{dyn}

valeur de crête maximale du courant primaire qu'un transformateur supporte sans subir de dommages électriques ni mécaniques du fait des efforts électromagnétiques qui en résultent, le secondaire étant mis en court-circuit

[SOURCE: CEI 60050-321:1986, 321-02-24]

3.3.205

courant thermique permanent assigné

I_{cth}

valeur du courant qui peut circuler indéfiniment dans l'enroulement primaire, l'enroulement secondaire étant connecté à la charge assignée, sans que l'échauffement dépasse les limites spécifiées

[SOURCE: CEI 60050-321:1986, 321-02-25]

3.3.206

courant primaire de court-circuit assigné

I_{psc}

valeur efficace de la composante alternative d'un court-circuit transitoire sur laquelle est basée la performance de précision assignée d'un transformateur de courant

Note 1 à l'article: Bien que I_{th} soit lié à la limite thermique, la valeur I_{psc} est relative à la limite de précision. Généralement, I_{psc} est plus petit que I_{th} .

3.3.207

courant d'excitation

I_e

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 en circuit ouvert

[SOURCE: CEI 60050-321:1986, 321-02-32]

3.4 Définitions relatives à la précision

3.4.3

erreur de rapport

ε

La définition 3.4.3 de la CEI 61869-1:2007 s'applique, avec la note suivante:

Note 201 à l'article: L'erreur de rapport de courant, exprimée en pourcentage, est donnée par la formule:

$$\varepsilon = \frac{k_r I_s - I_p}{I_p} \times 100 \%$$

où

k_r est le rapport de transformation assigné;

I_p est le courant primaire réel;

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

Un diagramme vectoriel explicatif est donné dans l'Annexe 2A.1

3.4.4

déphasage

$\Delta\varphi$

La définition 3.4.3 de la CEI 61869-1:2007 s'applique, avec la note suivante:

Note 1 à l'article: Un diagramme vectoriel explicatif est donné dans l'Annexe 2A.1.

3.4.201

charge résistive assignée

R_b

valeur assignée de la charge résistive connectée au secondaire, exprimée en ohms

3.4.202

résistance de l'enroulement secondaire

R_{ct}

résistance réelle en courant continu de l'enroulement secondaire, exprimée en ohms, ramenée à 75 °C ou à toute autre température qui peut être spécifiée

Note 1 à l'article: R_{ct} est une valeur réelle. Elle ne doit pas être confondue avec la limite supérieure de R_{ct} , qu'il est possible de spécifier.

3.4.203

erreur composée

ε_c

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,

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

Note 1 à l'article: L'erreur composée ε_c est exprimée en général en pourcent de la valeur efficace du courant selon la formule suivante:

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

où

k_r	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.

Pour plus d'informations, se référer à l'Annexe 2A.4.

[SOURCE: CEI 60050-321:1986, 321-02-26, note à l'article modifié]

3.4.204

courant limite primaire assigné

I_{PL}

valeur du courant primaire minimum 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

[SOURCE: CEI 60050-321:1986, 321-02-27]

3.4.205

facteur de sécurité

FS

rapport entre le courant limite primaire assigné et le courant primaire assigné

Note 1 à l'article: Il convient de prêter attention au fait que le facteur de sécurité réel pour les appareils est affecté par la charge. Lorsque la valeur de la charge est significativement inférieure à la valeur assignée, des valeurs de courant plus élevées sont produites côté secondaire en cas de courant de court-circuit.

Note 2 à l'article: Dans le cas où des courants de défaut du système circulent dans l'enroulement primaire d'un transformateur de courant, la sécurité des appareils alimentés par le transformateur est à son maximum lorsque le facteur de sécurité (FS) est à son minimum.

[SOURCE: CEI 60050-321:1986, 321-02-28, notes à l'article modifiés]

3.4.206

force électromotrice limite secondaire

E_{FS}

produit du facteur de sécurité par le courant secondaire assigné et par la somme vectorielle de la charge de précision et de l'impédance de l'enroulement secondaire

Note 1 à l'article: La force électromotrice limite secondaire pour les transformateurs de courant pour mesure E_{FS} se calcule comme suit:

$$E_{FS} = FS \times I_{sr} \times \sqrt{(R_{ct} + R_b)^2 + X_b^2}$$

où: R_b est le part résistive de la charge assignée;

X_b est le part inductive de la charge assignée.

La méthode de calcul de la force électromotrice limite secondaire donne une valeur supérieure à la valeur réelle. Elle a été choisie en vue d'appliquer la même méthode d'essai que pour les transformateurs de courant pour protection. Se référer aux paragraphes 7.2.6.202 et 7.2.6.203.

[SOURCE: CEI 60050-321:1986, 321-02-31, note à l'article modifié]

3.4.207

courant limite de précision assigné

valeur la plus élevée du courant primaire pour laquelle le transformateur de courant doit satisfaire aux prescriptions concernant l'erreur composée

[SOURCE: CEI 60050-321:1986, 321-02-29]

3.4.208

facteur limite de précision

ALF

rapport entre le courant limite de précision assigné et le courant primaire assigné

[SOURCE: CEI 60050-321:1986, 321-02-30]

3.4.209

force électromotrice limite secondaire pour les transformateurs de courant pour protection

E_{ALF}

produit du facteur limite de précision par le courant secondaire assigné et par la somme vectorielle de la charge assignée et de l'impédance de l'enroulement secondaire

Note 1 à l'article: La force électromotrice limite secondaire E_{ALF} pour les transformateurs de courant pour protection de classe P et PR se calcule comme suit:

$$E_{ALF} = ALF \times I_{sr} \times \sqrt{(R_{ct} + R_b)^2 + X_b^2}$$

où: R_b est le part résistive de la charge assignée;

X_b est le part inductive de la charge assignée.

3.4.210

flux de saturation

Ψ_{sat}

valeur maximale du flux embrassé par l'enroulement secondaire d'un transformateur de courant qui correspond à la saturation magnétique du matériau du noyau

Note 1 à l'article: La procédure la plus appropriée pour déterminer le flux de saturation Ψ_{sat} est donnée par la méthode de saturation en courant continu décrite à l'Annexe 2B.2.3 .

Note 2 à l'article: Dans l'ancienne norme CEI 60044-6, Ψ_s était défini comme valeur du coude de saturation, qui caractérisait la transition de l'état non-saturé à l'état saturé du noyau. Cette définition n'a pas été bien acceptée car la valeur de saturation était trop basse, ce qui entraînait des confusions. En conséquence, la définition est remplacée par Ψ_{sat} , qui définit la condition de saturation complète.

3.4.211

flux rémanent

Ψ_r

valeur du flux embrassé par l'enroulement secondaire qui subsisterait dans le circuit magnétique, 3 min après l'interruption d'un courant d'excitation de grandeur suffisante pour produire le flux de saturation (Ψ_{sat})

3.4.212

facteur de rémanence

K_R

Rapport du flux rémanent sur le flux de saturation, exprimé en pourcentage

3.4.213

constante de temps assignée de la boucle secondaire

T_s

valeur de la constante de temps de la boucle secondaire du transformateur de courant, déterminée par le rapport de la somme (L_s) des inductances de magnétisation et de fuite à la résistance totale (R_s) de la boucle secondaire

$$T_s = L_s / R_s$$

3.4.214

caractéristique d'excitation

présentation, sous forme de graphique ou de tableau, de la relation entre la valeur efficace du courant d'excitation et la tension sinusoïdale appliquée aux bornes secondaires d'un transformateur de courant, le primaire et les autres enroulements étant en circuit ouvert, sur une plage de valeurs permettant de définir la caractéristique depuis les bas niveaux d'excitation jusqu'à 1,1 fois la force électromotrice de coude

3.4.215

tension du point de coude

valeur efficace de la tension sinusoïdale à la fréquence assignée qui, appliquée aux bornes secondaires du transformateur, tous les autres enroulements étant à circuit ouvert, provoque une augmentation du courant d'excitation de 50% lorsqu'elle augmente de 10%

[SOURCE: CEI 60050-321: 1986, 321-02-34]

3.4.216

force électromotrice du point de coude

force électromotrice d'un transformateur de courant à la fréquence assignée, telle que son augmentation de 10 % entraîne une augmentation de 50 % de la valeur efficace du courant d'excitation

Note 1 à l'article: Alors que la tension du point de coude peut être appliquée aux bornes secondaires du transformateur de courant, la force électromotrice du point de coude n'est pas accessible directement. La tension du point de coude et la force électromotrice de coude sont considérées comme identiques, par le fait que la chute de tension liée à la résistance de l'enroulement secondaire peut être considérée comme négligeable.

3.4.217

force électromotrice de coude assignée

E_k

limite inférieure de la force électromotrice de coude

Note 1 à l'article: La force électromotrice de coude figure sur la spécification des classes de protection PX et PXR. Elle peut être calculée comme suit:

$$E_k = K_x \times (R_{ct} + R_b) \times I_{sr}$$

3.4.218

rapport des nombres de spires assigné

rapport spécifié entre le nombre de spires de l'enroulement primaire et le nombre de spires de l'enroulement secondaire

EXEMPLE 1 1/600 (signification: 1 spire primaire avec 600 spires secondaires)

EXEMPLE 2 2/1200 (signification: 2 spires primaires avec 1 200 spires secondaires)

Note 1 à l'article: Le rapport des nombres de spires assigné est donné pour un transformateur de courant pour protection de classe PX ou PXR.

Note 2 à l'article: Le rapport des nombres de spires assigné et le rapport de transformation assigné sont définis comme des entités du primaire au secondaire. Pour les comparer, la valeur du rapport des nombres de spires assigné doit être inversée.

3.4.219

erreur sur le rapport des nombres de spires

différence entre les valeurs réelle et assignée du rapport des nombres de spires exprimée en pourcentage du rapport des nombres de spires assigné

3.4.220

facteur de dimensionnement

K_x

facteur indiquant le multiple du courant secondaire assigné (I_{sr}) apparaissant lors de conditions de défaut au primaire, compte tenu des marges de sécurité, et jusqu'auquel le transformateur doit satisfaire aux performances exigées

Note 1 à l'article: Voir la formule sous 3.4.217.

3.4.221

courant d'erreur instantané

i_ε

différence entre les valeurs instantanées du courant secondaire (i_s) multiplié par le rapport de transformation assigné (k_r) et du courant primaire (i_p):

$$i_\varepsilon = k_r \times i_s - i_p$$

Note 1 à l'article: Lorsque le courant comporte deux composantes, l'une alternative (i_{sac} , i_{pac}) et l'autre continue (i_{sdc} , i_{pdc}), ces composantes ($i_{\varepsilon ac}$, $i_{\varepsilon dc}$) sont identifiées séparément comme suit:

$$i_\varepsilon = i_{\varepsilon ac} + i_{\varepsilon dc} = (k_r \times i_{sac} - i_{pac}) + (k_r \times i_{sdc} - i_{pdc})$$

3.4.222

valeur de crête de l'erreur instantanée

$\hat{\varepsilon}$

valeur maximale (\hat{i}_ε) du courant d'erreur instantané (voir 3.4.221) pour le cycle de fonctionnement spécifié, exprimée en pourcentage de la valeur de crête du courant primaire de court-circuit assigné:

$$\hat{\varepsilon} = \frac{\hat{i}_\varepsilon}{\sqrt{2} \times I_{psc}} \times 100\%$$

3.4.223

valeur de crête de la composante alternative de l'erreur

$\hat{\varepsilon}_{ac}$

valeur maximale \hat{i}_{ac} de la composante alternative du courant d'erreur instantané (voir 3.4.221) exprimée en pourcentage de la valeur de crête du courant primaire de court-circuit assigné:

$$\hat{\varepsilon}_{ac} = \frac{\hat{i}_{ac}}{\sqrt{2} \times I_{psc}} \times 100 \%$$

3.4.224

cycle de fonctionnement spécifié (C-O et/ou C-O-C-O)

cycle de fonctionnement pendant lequel, pour chaque excitation spécifiée, on considère que le courant de court-circuit primaire résulte de l'angle d'apparition le plus défavorable (voir Figure 201)

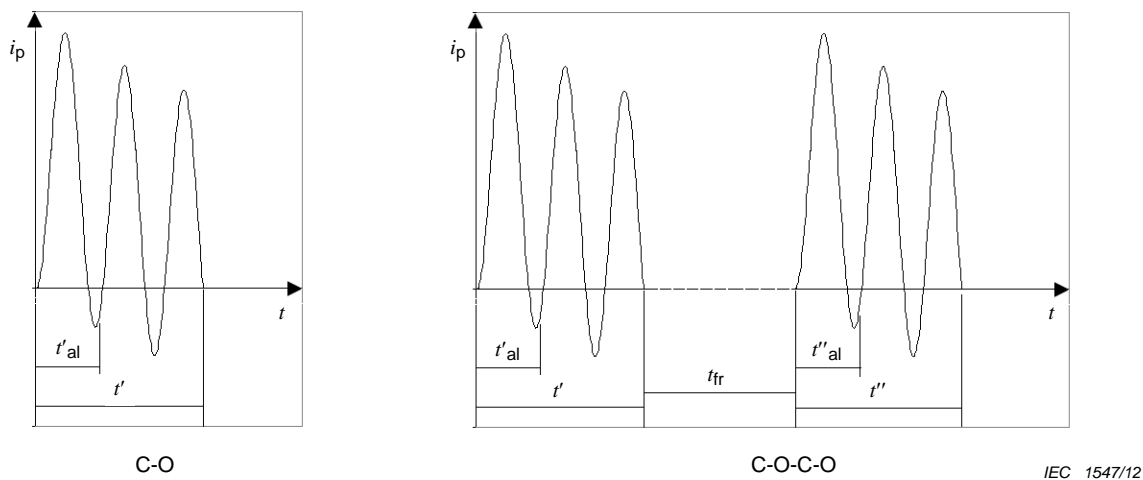


Figure 201 – Cycles de fonctionnement

3.4.225

constante de temps du primaire spécifiée

T_p

valeur spécifiée de la constante de temps de la composante continue du courant primaire de court-circuit sur laquelle est basée la réponse du transformateur de courant en régime transitoire (voir Figure 202)

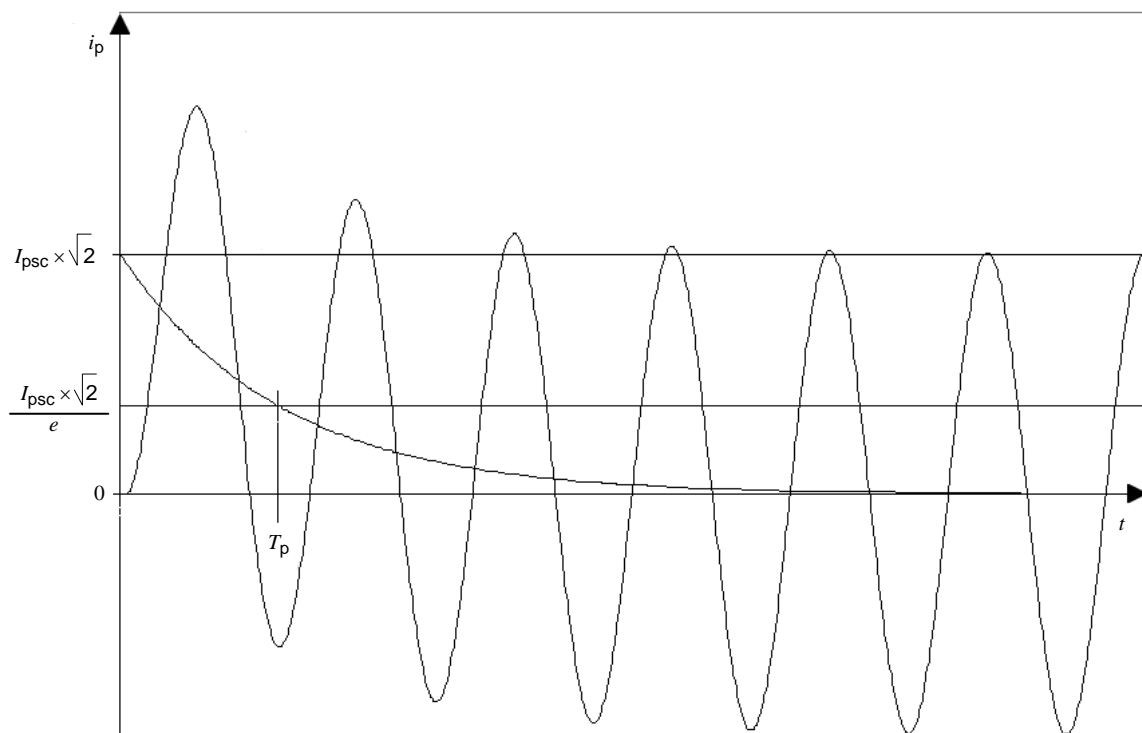


Figure 202 – Constante de temps du primaire T_p

3.4.226

durée de premier défaut

t'

durée du défaut dans un cycle de fonctionnement C-O, ou durée du premier défaut dans un cycle de fonctionnement C-O-C-O

Note 1 à l'article: Voir Figure 201.

3.4.227

durée de deuxième défaut

t''

durée du deuxième défaut dans un cycle de fonctionnement C-O-C-O

Note 1 à l'article: Voir Figure 201.

3.4.228

durée spécifiée jusqu'à la limite de précision dans le premier défaut

t'_{al}

durée d'un cycle de fonctionnement C-O, ou de la première excitation d'un cycle de fonctionnement C-O-C-O, pendant laquelle la précision spécifiée doit être maintenue

Note 1 à l'article: Voir Figure 201. Cette durée est habituellement définie par le temps critique de mesure du système de protection associé.

3.4.229

durée spécifiée jusqu'à la limite de précision dans le deuxième défaut

t''_{al}

durée de la deuxième excitation d'un cycle de fonctionnement C-O-C-O pendant laquelle la précision spécifiée doit être maintenue

Note 1 à l'article: Voir Figure 201. Cette durée est habituellement définie par le temps critique de mesure du système de protection associé.

3.4.230

temps de répétition de défaut

t_{fr}

intervalle de temps écoulé, au cours d'un cycle de réenclenchement automatique de disjoncteur, entre la coupure du courant primaire de court-circuit et sa seconde application en cas d'échec de la suppression de défaut

Note 1 à l'article: Voir Figure 201.

3.4.231

résistance de la boucle secondaire

R_s

résistance totale du circuit secondaire

$$R_s = R_b + R_{ct}$$

3.4.232

facteur de courant de court-circuit symétrique assigné

K_{ssc}

rapport entre le courant primaire de court-circuit assigné et le courant primaire assigné

$$K_{ssc} = \frac{I_{psc}}{I_{pr}}$$

3.4.233

facteur de régime transitoire

K_{tf}

rapport du flux embrassé par l'enroulement secondaire à un temps spécifié d'un cycle de fonctionnement et de la valeur de crête de sa composante alternative

Note 1 à l'article: K_{tf} est calculé analytiquement selon différentes formules en fonction de T_p , de T_S , du cycle de fonctionnement et de l'angle d'apparition du courant de court-circuit. Une détermination de K_{tf} est donnée à l'Annexe 2B.1

Note 2 à l'article: Figure 203 montre des évolutions possibles du flux embrassé par l'enroulement secondaire pour des différents angles d'apparition γ du courant de court-circuit.

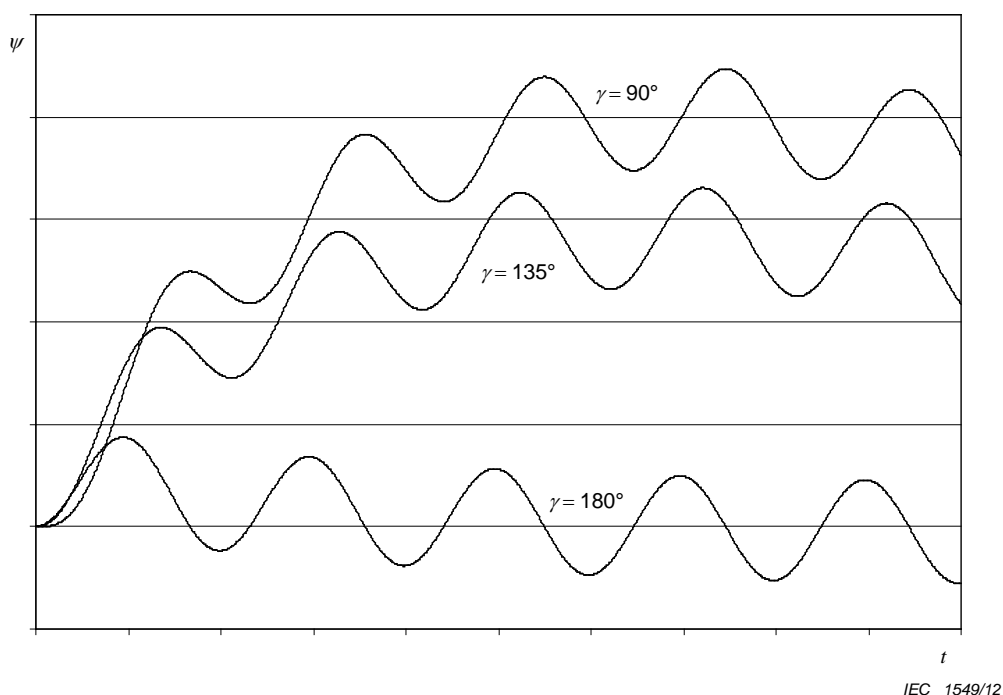


Figure 203 – Flux embrassé par l'enroulement secondaire pour des différents angles d'apparition γ du courant de court-circuit

3.4.234

facteur de dimensionnement pour le régime transitoire

K_{td}

facteur de dimensionnement permettant de prendre en compte l'augmentation du flux embrassé par l'enroulement secondaire sous l'effet d'une composante continue du courant primaire de court-circuit

Note 1 à l'article: Alors que K_{tf} est défini comme fonction du temps, K_{td} est le paramètre de dimensionnement final. K_{td} est dérivé des exigences du transformateur de courant indiquées par le constructeur du relais (et basées sur les essais de type de stabilité du relais) ou des considérations les plus pessimistes, basées sur les courbes de K_{tf} (voir Annexe 2B.1).

3.4.235

transformateur de courant à faible réactance de fuite

transformateur de courant pour lequel la mesure aux bornes secondaires (le primaire étant en circuit ouvert) suffit pour déterminer sa conformité aux limites de précision requises pour la classe protection

3.4.236

transformateur de courant à forte réactance de fuite

transformateur de courant qui ne répond pas aux exigences du paragraphe 3.4.235 et pour lequel le constructeur prévoit une marge supplémentaire afin de tenir compte des effets d'influence qui produisent un flux de fuite supplémentaire

3.4.237

force électromotrice secondaire limite équivalente assignée

E_{al}

valeur efficace de la force électromotrice équivalente du circuit secondaire à la fréquence assignée nécessaire pour satisfaire les exigences du cycle de fonctionnement spécifié:

$$E_{al} = K_{ssc} \times K_{td} \times (R_{ct} + R_b) \times I_{sr}$$

3.4.238

valeur de crête du courant secondaire d'excitation à E_{al}

\hat{I}_{al}

valeur de crête du courant d'excitation lorsque une tension correspondant à E_{al} est appliquée aux bornes secondaire et que l'enroulement primaire est ouvert

3.4.239

facteur de construction

F_c

facteur représentant les différences de résultats de mesure entre la méthode d'essai direct et la méthode d'essai indirect, susceptibles d'apparaître dans les conditions limites

Note 1 à l'article: La procédure de mesure est donnée à l'Annexe 2B.3.3.

3.7 Index des abréviations

Le paragraphe 3.7 de la norme CEI 61869-1:2007 est remplacé par ce qui suit:

AIS	Appareillage à isolation par air
ALF	Facteur limite de précision
CT	transformateur de courant
CVT	transformateur capacitif de tension
E_{al}	force électromotrice secondaire limite équivalente assignée
E_{ALF}	force électromotrice limite secondaire pour les transformateurs de courant pour protection
E_{FS}	force électromotrice limite secondaire pour les transformateurs de courant pour mesure
E_k	force électromotrice de coude assignée
F	charge mécanique
F_c	facteur de construction
f_R	fréquence assignée
F_{rel}	taux de fuite relatif
FS	facteur de sécurité pour les appareils
GIS	appareillage à isolation gazeuse
\hat{I}_{al}	valeur de crête du courant secondaire d'excitation à U_{al}
I_{cth}	courant thermique permanent assigné
I_{dyn}	courant dynamique assigné

I_e	courant d'excitation
I_{PL}	courant limite assigné pour les appareils
I_{pr}	courant primaire assigné
I_{psc}	courant primaire de court-circuit assigné
I_{sr}	courant secondaire assigné
IT	transformateur de mesure
I_{th}	courant de court-circuit thermique assigné
i_ε	courant d'erreur instantané
k	rapport de transformation réel
k_r	rapport de transformation assigné
K_R	facteur de rémanence
K_{ssc}	facteur de courant de court-circuit symétrique assigné
K_{td}	facteur de dimensionnement pour le régime transitoire
K_{tf}	facteur transitoire
K_x	facteur de dimensionnement
L_m	inductance de magnétisation
R_b	charge résistive assignée
R_{ct}	résistance de l'enroulement secondaire
R_s	résistance de la boucle secondaire
S_r	puissance de sortie assignée
t'	durée de premier défaut
t''	durée de deuxième défaut
t'_{al}	durée spécifiée jusqu'à la limite de précision dans le premier défaut
t''_{al}	durée spécifiée jusqu'à la limite de précision dans le deuxième défaut
t_{fr}	temps de répétition de défaut
T_p	constante de temps du primaire spécifiée
T_s	constante de temps de la boucle secondaire
U_m	tension la plus élevée pour le matériel
U_{sys}	tension la plus élevée du réseau
VT	transformateur de tension
$\Delta\varphi$	déphasage
ε	erreur de rapport
ε_c	erreur composée
$\hat{\varepsilon}$	valeur de crête de l'erreur instantanée
$\hat{\varepsilon}_{ac}$	valeur de crête de la composante alternative de l'erreur
Ψ_r	flux rémanent
Ψ_{sat}	flux de saturation

5 Caractéristiques assignées

5.3 Niveaux d'isolement assignés

5.3.2 Niveau d'isolement assigné des bornes primaires

L'Article 5.3.2 de la CEI 61869-1:2007 s'applique avec le complément suivant:

Pour un transformateur de courant sans enroulement primaire et sans isolation primaire propre, la valeur $U_m = 0,72$ kV est considérée.

5.3.5 Exigences d'isolement pour les bornes secondaires

L'Article 5.3.5 de la CEI 61869-1:2007 s'applique avec le complément suivant:

L'isolation de l'enroulement secondaire de transformateurs de courant de classe PX ou PXR ayant une force électromotrice de coude assignée $E_k \geq 2$ kV doit être capable de supporter une tension de tenue assignée à fréquence industrielle de 5 kV (valeur efficace) pendant 60 s.

5.3.201 Exigences d'isolement entre spires

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

Pour les transformateurs de classe PX ou PXR présentant une force électromotrice de coude assignée supérieure à 450 V, la tension de tenue assignée de l'isolation entre spires doit être une tension de crête égale à 10 fois la valeur efficace de la force électromotrice de coude spécifiée limitée à 10 kV (valeur crête).

NOTE 1 Il est possible que la forme d'onde soit fortement déformée par suite de la procédure d'essai.

NOTE 2 En accord avec la méthode d'essai 7.3.204, des valeurs de tension plus faibles peuvent apparaître.

5.5 Puissance de sortie assignée

5.5.201 Valeurs de la puissance de sortie assignée

Les valeurs normales de la puissance de sortie assignée pour les classes de mesure (P et PR) sont les suivantes:

2,5 – 5,0 – 10 – 15 et 30 VA

Des valeurs supérieures à 30 VA peuvent être choisies afin de répondre aux besoins.

NOTE Pour un transformateur donné, pourvu qu'une des valeurs de puissance de sortie assignée soit normale et associée à une classe de précision normale, l'indication d'autres valeurs de puissance de sortie assignée qui peuvent ne pas être normales, mais associées à d'autres classes de précision normales, n'est pas exclue.

5.5.202 Valeurs de charge résistive assignée

Les valeurs normales de la charge résistive assignée, exprimée en ohms, des transformateurs de courant des classes TPX, TPY et TPZ, sont les suivantes:

0,5 – 1 – 2 – 5 Ohm

Les valeurs préférentielles sont soulignées. Les valeurs sont basées sur un courant secondaire assigné de 1 A. Pour les transformateurs de courant ayant un courant secondaire assigné différent de 1 A, les valeurs indiquées ci-dessus doivent être adaptées en raison inverse du carré du courant.

NOTE Pour un transformateur donné, pourvu qu'une des valeurs de charge résistive assignée soit normalisée et associée à une classe de précision normale, l'indication d'autres valeurs de charge résistive assignée qui peuvent ne pas être normales, mais associées à d'autres classes de précision normales, n'est pas exclue.

5.6 Classe de précision assignée

5.6.201 Transformateurs de courant pour mesure

5.6.201.1 Désignation de la classe de précision d'un transformateur de courant pour mesure

La classe de précision des transformateurs de courant pour mesure est désignée par le plus haut pourcentage admissible d'erreur de rapport (ε) au courant primaire assigné et à la puissance de sortie assignée.

5.6.201.2 Classes de précision normales

Les classes de précision normales des transformateurs de courant pour mesure sont les suivantes:

0,1 – 0,2 – 0,2S – 0,5 – 0,5S – 1 – 3 – 5

5.6.201.3 Limites de l'erreur de rapport (ε) et du déphasage pour les transformateurs de courant pour mesure

Pour les classes 0,1 – 0,2 – 0,5 et 1, l'erreur de rapport et le déphasage, à la fréquence assignée, ne doivent pas dépasser les valeurs données dans le Tableau 201, pour toute valeur de charge comprise entre 25 % et 100 % de la puissance de sortie assignée.

Pour les classes 0,2S et 0,5S, l'erreur de rapport et le déphasage, à la fréquence assignée, ne doivent pas dépasser les valeurs données dans le Tableau 202, pour toute valeur de charge comprise entre 25 % et 100 % de la puissance de sortie assignée.

Pour les classes 3 et 5, l'erreur de rapport, à la fréquence assignée, ne doit pas dépasser les valeurs données dans le Tableau 203, pour toute valeur de charge comprise entre 50 % et 100 % de la puissance de sortie assignée. Il n'est spécifié aucune limite de déphasage pour les classes 3 et 5.

Pour toutes les classes, la charge 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 1,0.

NOTE En général, les limites prescrites de l'erreur de rapport et du déphasage sont valables pour toute position donnée d'un conducteur externe placé à une distance dans l'air non inférieure à la distance requise pour l'isolement dans l'air à la tension la plus élevée pour le matériel (U_m).

Tableau 201 – Limites de l'erreur de rapport et du déphasage des transformateurs de courant pour mesure (classes de 0,1 à 1)

Classe de précision	Erreur de rapport				Déphasage							
					Minutes (±)				Centiradians (±)			
	± %											
	au courant (% de la valeur assignée)				au courant (% de la valeur assignée)				au courant (% de la valeur assignée)			
	5	20	100	120	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	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

Tableau 202 – Limites de l'erreur de rapport (ε) et du déphasage des transformateurs de courant pour mesure pour applications particulières

Classe de précision	Erreur de rapport					Déphasage									
						Minutes (±)					Centiradians (±)				
	± %														
	au courant (% de la valeur assignée)					au courant (% de la valeur assignée)					au courant (% de la valeur assignée)				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0,2S	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
0,5S	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

Tableau 203 – Limites de l'erreur de rapport des transformateurs de courant pour mesure (classes 3 et 5)

Classe	Erreur de rapport	
	± %	
	au courant (% de la valeur assignée)	
	50	120
3	3	3
5	5	5

5.6.201.4 Gamme de charge étendue

Pour toutes les classes de mesure, il est possible de spécifier une gamme de charge étendue. L'erreur de rapport et le déphasage ne doivent pas dépasser les limites de la classe correspondante, définies dans le Tableau 201, le Tableau 202 et le Tableau 203 pour la gamme de charge secondaire comprise entre 1 VA et la charge assignée. Le facteur de puissance doit être de 1,0 dans toute la gamme de charge. La charge assignée maximale est limitée à 15 VA.

5.6.201.5 Transformateurs à gamme étendue

Des transformateurs de courant de classes de précision 0,1 à 1 seront considérés comme possédant une gamme étendue en courant, s'ils satisfont aux deux conditions suivantes:

- le courant thermique permanent assigné doit être égal au courant primaire étendu assigné;
- les limites d'erreur de rapport et de déphasage prescrites pour 120 % du courant primaire assigné dans le Tableau 201 doivent être conservées jusqu'au courant primaire étendu assigné.

Le courant primaire étendu assigné doit être exprimé en pourcentage du courant primaire assigné.

5.6.201.6 Facteur de sécurité

Un facteur de sécurité peut être spécifié pour les appareils.

Les valeurs normales sont: FS 5 et FS 10

5.6.202 Transformateurs de courant pour protection

5.6.202.1 Généralités

Trois méthodes différentes sont prévues pour définir les transformateurs de courant pour protection (voir Tableau 204). Chacune des trois définitions peut conduire en pratique à la même réalisation physique.

Tableau 204 – Caractéristiques des classes de protection

Désignation	Limite de flux rémanent	Explication
P	non ^a	Définition d'un transformateur de courant satisfaisant aux exigences d'erreur composée dans des conditions de courant de court-circuit symétrique en régime établi
PR	oui	
PX	non ^{a, b}	Définition d'un transformateur de courant par spécification de ses caractéristiques de magnétisation
PXR	oui ^b	
TPX	non ^a	Définition d'un transformateur de courant satisfaisant aux exigences d'erreur en régime transitoire dans des conditions de courant de court-circuit asymétrique
TPY	oui	
TPZ	oui	
^a Bien qu'il n'existe aucune limite de flux rémanent, des entrefers sont autorisés, par exemple dans les transformateurs de courant à circuit magnétique ouvrant.		
^b Pour distinguer les classes PX et PXR, le critère de flux de rémanence doit être utilisé.		

5.6.202.2 Transformateur de courant pour protection de classe P

5.6.202.2.1 Valeurs normales des facteurs limites de précision (ALF)

Les valeurs normales des facteurs limites *ALF* sont les suivantes:

5 – 10 – 15 – 20 – 30

5.6.202.2.2 Désignation de la classe de précision

La classe de précision est désignée par la limite supérieure de l'erreur composée, exprimée en pourcentage, suivie de la lettre «P» (pour «protection») et de la valeur *ALF*.

5.6.202.2.3 Classes de précision normales

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

5P et 10P

5.6.202.2.4 Limites d'erreur des transformateurs de courant pour protection de classe P

A la fréquence assignée et la charge assignée étant connectée, l'erreur de rapport, le déphasage et l'erreur composée ne doivent pas dépasser les limites données dans le Tableau 205.

La charge assignée doit avoir un facteur de puissance de 0,8 (circuit inductif) sauf si la charge assignée absorbe une puissance inférieure à 5 VA; dans ce cas, on doit utiliser un facteur de puissance de 1,0.

Tableau 205 – Limites d'erreur des transformateurs de courant pour protection des classes P et PR

Classe de précision	Erreur de rapport au courant primaire assigné $\pm \%$	Déphasage au courant primaire assigné		Erreur composée au courant limite de précision assigné %
		Minutes (\pm)	Centiradians (\pm)	
5P et 5PR	1	60	1,8	5
10P et 10PR	3	–	–	10

5.6.202.3 Transformateurs de courant pour protection de classe PR

5.6.202.3.1 Valeurs normales des facteurs limites de précision

Les valeurs normales des facteurs limites ALF sont les suivantes:

5 – 10 – 15 – 20 – 30

5.6.202.3.2 Désignation de la classe de précision

La classe de précision est désignée par la limite supérieure de l'erreur composée, exprimée en pourcentage, suivie des lettres "PR" (pour protection et faible rémanence) et de la valeur ALF .

5.6.202.3.3 Classes de précision normales

Les classes de précision normales des transformateurs de courant de classe PR sont les suivantes:

5PR et 10PR

5.6.202.3.4 Limites d'erreur des transformateurs de courant pour protection de classe PR

A la fréquence assignée et la charge assignée étant connectée, l'erreur de rapport, le déphasage et l'erreur composée ne doivent pas dépasser les limites données dans le Tableau 205.

La charge assignée doit avoir un facteur de puissance de 0,8 (circuit inductif) sauf si la charge assignée absorbe une puissance inférieure à 5 VA; dans ce cas, on doit utiliser un facteur de puissance de 1,0.

5.6.202.3.5 Facteur de rémanence (K_R)

Le facteur de rémanence (K_R) ne doit pas être supérieur à 10 %.

NOTE L'insertion d'un ou de plusieurs entrefers dans le circuit magnétique constitue une méthode de limitation du facteur de rémanence.

5.6.202.3.6 Constante de temps de la boucle secondaire (T_s)

Il est permis de spécifier la constante de temps de la boucle secondaire.

5.6.202.3.7 Résistance de l'enroulement secondaire (R_{ct})

Il est permis de spécifier la limite supérieure de résistance de l'enroulement secondaire.

5.6.202.4 Transformateurs de courant pour protection des classes PX et PXR

Les caractéristiques des transformateurs de courant des classes PX et PXR doivent être spécifiées dans les termes suivants:

- courant primaire assigné (I_{pr});
- courant secondaire assigné (I_{sr});
- rapport des nombres de spires assigné;
- force électromotrice de coude assignée (E_k);
- limite supérieure du courant d'excitation (I_e) à la force électromotrice de coude assignée et/ou à un pourcentage donné de celle-ci;
- limite supérieure de la résistance de l'enroulement secondaire (R_{ct}).

Au lieu de donner explicitement la force électromotrice de coude assignée, E_k peut être calculé comme suit:

$$E_k = K_x \times (R_{ct} + R_b) \times I_{sr}$$

Dans ce cas, la charge résistive assignée (R_b) et le facteur de dimensionnement (K_x) doivent être spécifiés, et la choix de la valeur R_{ct} est laissée au constructeur.

Pour la classe PX, l'erreur sur le rapport des nombres de spires ne doit pas dépasser la limite de $\pm 0,25$ %.

Pour la classe PXR, l'erreur sur le rapport des nombres de spires ne doit pas dépasser la limite de ± 1 %.

Pour la classe PXR, le facteur de rémanence ne doit pas être supérieur à 10 %.

NOTE 201 Pour garantir un facteur de rémanence ≤ 10 %, les transformateurs de courant de classe PXR peuvent comporter des entrefers.

NOTE 202 Pour les circuits magnétiques de grande dimension et à faible ampère-tour de classe PXR, il peut être difficile de satisfaire à l'exigence du facteur de rémanence. Dans de tels cas, un facteur de rémanence supérieur à 10 % peut être accepté.

5.6.202.5 Transformateurs de courant pour protection en régime transitoire

5.6.202.5.1 Limites d'erreur pour les transformateurs de courant de classes TPX, TPY et TPZ

La charge résistive assignée étant connectée au transformateur de courant et à la fréquence assignée, l'erreur de rapport et le déphasage ne doivent pas dépasser les limites données dans le Tableau 206.

Lorsque le cycle de fonctionnement spécifié (ou un cycle de fonctionnement qui correspond au facteur de dimensionnement pour le régime transitoire K_{td}) est appliqué au transformateur de courant branché sur la charge résistive assignée, les erreurs transitoires $\hat{\varepsilon}$ (pour classes TPX et TPY) ou $\hat{\varepsilon}_{ac}$ (pour classe TPZ) ne doivent pas dépasser les limites données dans le Tableau 206.

Toutes les limites d'erreur sont données pour une température de l'enroulement secondaire de 75°C.

**Tableau 206 – Limites d'erreur pour les transformateurs de courant
de classes TPX, TPY et TPZ**

Classe	Au courant primaire assigné			Limite d'erreur transitoire sous la condition du cycle de fonctionnement spécifié
	Erreur de rapport ± %	Déphasage ^a MinutesCentiradians		
TPX	0,5	±30	±0,9	$\hat{\mathcal{E}}=10\%$
TPY	1,0	±60	±1,8	$\hat{\mathcal{E}}=10\%$ ^b
TPZ	1,0	180±18	5,3±0,6	$\hat{\mathcal{E}}_{ac}=10\%$

NOTE 1 Dans certains cas, la valeur absolue du déphasage peut présenter moins d'importance que le fait de minimiser son écart-type dans une série de fabrication donnée

NOTE 2 Pour les circuits magnétiques de classe TPY, il est possible d'employer la formule suivante à la condition que la valeur correspondante de E_{al} ne dépasse pas la zone linéaire de la courbe de magnétisation:

$$\hat{\mathcal{E}} = \frac{K_{td}}{2\pi f_R \times T_s} \times 100\%$$

5.6.202.5.2 Limites du facteur de rémanence (K_R)

TPX: aucune limite

TPY: $K_R \leq 10 \%$

TPZ: $K_R \leq 10 \%$

NOTE Pour la classe TPZ, un facteur de rémanence $<< 10 \%$, est donné par la construction. Par conséquent, le flux rémanent peut être négligé.

5.6.202.5.3 Méthodes de spécification

Les deux méthodes de spécification sont illustrées dans le Tableau 207.

Dans certains cas, le choix d'un cycle de fonctionnement spécifique ne peut pas décrire toutes les exigences de protection. En conséquence, la spécification alternative donne la possibilité de spécifier des «exigences globales» qui couvrent les exigences de différents cycles de fonctionnement. Les deux méthodes de spécifications ne doivent pas être combinées, sinon le transformateur de courant pourrait être indéterminé.

Tableau 207 – Méthodes de spécification des transformateurs de courant de classes TPX, TPY et TPZ

Spécification normale	Spécification alternative
Désignation de la classe du transformateur de courant (TPX, TPY ou TPZ)	Désignation de la classe du transformateur de courant (TPX, TPY ou TPZ)
Facteur de courant de court-circuit symétrique assigné K_{SSC}	Facteur de courant de court-circuit symétrique assigné K_{SSC}
Cycle de fonctionnement, défini par pour le cycle C-O: t'_{al} pour le cycle C-O-C-O: $t'_{al}, t', t_{fr}, t''_{al}$	Facteur de dimensionnement pour le régime transitoire assigné K_{td} Constante de temps assignée de la boucle secondaire T_S (pour circuits magnétiques TPY uniquement)
Constante de temps du primaire assignée T_p	
Charge résistive assignée R_b	Charge résistive assignée R_b

NOTE 1 Pour les transformateurs de courant avec prises au secondaire, les exigences de précision données peuvent être satisfaites pour un rapport seulement.

NOTE 2 Pour les transformateurs de courant avec couplage primaire, les exigences de précision peuvent être satisfaites pour plusieurs rapports. Dans ce cas, il convient de prêter attention au facteur de construction F_c , qui peut être influencé par la configuration des conducteurs primaires.

NOTE 3 Si la spécification alternative est utilisée, K_{td} est normalement donné par le fournisseur du dispositif de protection. Dans ce cas, T_S doit aussi être spécifiée, car c'est le seul paramètre du transformateur de courant qui est utilisé pour le calcul de K_{td} .

5.6.203 Spécification de classe pour les transformateurs de courant à rapports de transformation sélectionnables

5.6.203.1 Performance de précision pour transformateurs de courant avec couplage primaire

Pour toutes les classes de précision, la performance de précision doit être respectée pour tous les couplages spécifiés.

5.6.203.2 Performance de précision pour transformateurs de courant avec prises au secondaire

Pour toutes les classes de précision, la performance de précision doit être respectée au rapport le plus élevé, sauf indication contraire.

Lorsque l'acheteur en fait la demande, le constructeur doit donner des informations sur la performance de précision aux rapports inférieurs.

5.201 Valeurs normales du courant primaire assigné

Les valeurs normales du courant primaire assigné sont les suivantes:

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

et leurs multiples ou sous-multiples décimaux.

Les valeurs préférentielles sont soulignées.

5.202 Valeurs normales du courant secondaire assigné

Les valeurs normales du courant secondaire assigné sont de 1 A et 5 A.

Pour les transformateurs de courant pour protection pour réponse en régime transitoire, la valeur normale du courant secondaire assigné est de 1 A.

5.203 Valeurs normales du courant thermique permanent assigné

La valeur normale du courant thermique permanent assigné est le courant primaire assigné.

Lorsqu'un courant thermique permanent assigné supérieur au courant primaire assigné est spécifié, les valeurs préférentielles sont de 120 %, 150 % et 200 % du courant primaire assigné.

5.204 Courants de court-circuit assignés

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

Un courant de court-circuit thermique assigné (I_{th}) doit être assigné au transformateur (voir 3.3.203).

La valeur normale de la durée du courant de court-circuit thermique assigné est de 1 s.

5.204.2 Courant dynamique assigné (I_{dyn})

La valeur normale du courant dynamique assigné (I_{dyn}) est de 2,5 fois le courant de court-circuit thermique assigné (I_{th}).

6 Conception et construction

6.4 Exigences relatives à l'échauffement des parties et des composants

6.4.1 Généralités

Le présent article de la CEI 61869-1:2007 s'applique avec le complément suivant:

L'échauffement d'un transformateur de courant parcouru par un courant primaire égal au courant thermique permanent assigné, avec une charge de facteur de puissance unité correspondant à la puissance de sortie assignée, ne doit pas dépasser la valeur appropriée, donnée dans le Tableau 5 de la CEI 61869-1:2007. Ces valeurs sont basées sur les conditions de service de l'Article 4.

6.13 Marquage

6.13.201 Marquage des bornes

6.13.201.1 Règles générales

Le marquage des bornes doit identifier:

- a) les enroulements primaires et secondaires;

- 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 prises intermédiaires, le cas échéant.

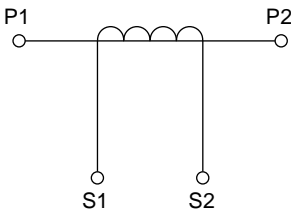
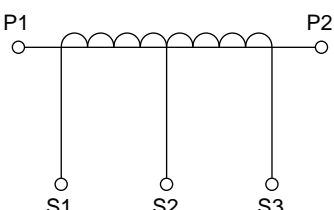
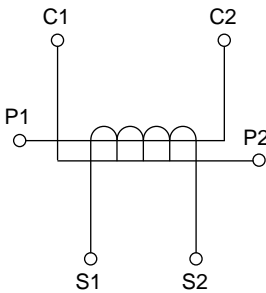
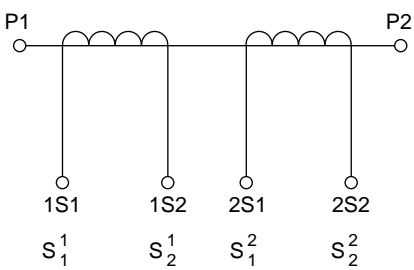
6.13.201.2 Mode de marquage

Le marquage doit être constitué de lettres suivies ou précédées si nécessaire de chiffres. Les lettres doivent être en majuscules d'imprimerie.

6.13.201.3 Marquage à employer

Le marquage des bornes d'un transformateur de courant doit être tel qu'indiqué dans le Tableau 208:

Tableau 208 – Marquage des bornes

Bornes primaires		
Bornes secondaires	Transformateur simple rapport	Transformateur à prise intermédiaire sur l'enroulement secondaire
Bornes primaires		
Bornes secondaires	Transformateur à enroulement primaire à 2 sections, pour couplage en série ou parallèle	Transformateurs à 2 enroulements secondaires; chacun ayant son circuit magnétique propre (deux variantes pour le marquage des bornes secondaires)

6.13.201.4 Indication des polarités relatives

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

6.13.202 Marquage des plaques signalétiques

6.13.202.1 Généralités

En plus des marquages définis dans l'Article 6.13 de la CEI 61869-1:2007, tous les transformateurs de courant doivent porter le marquage de plaques signalétiques général défini dans le présent article. Le marquage relatif aux classes de précisions particulières est donné dans les Paragraphes 6.13.202.2 à 6.13.202.6.

- a) Le courant primaire et secondaire assignés (par exemple: 100/1 A);

- b) le courant de court-circuit thermique assigné (I_{th}), (par exemple: $I_{th} = 40$ kA);
- c) le courant dynamique assigné (I_{dyn}), s'il diffère de $2,5 \times I_{th}$ (par exemple: $I_{dyn} = 85$ kA);
- d) pour les transformateurs à deux enroulements secondaires ou plus, l'utilisation de chacun de ces enroulements et des bornes correspondantes;
- e) le courant thermique permanent assigné, s'il diffère du courant primaire assigné.

EXEMPLE 1

Pour un transformateur de courant à circuit magnétique unique avec prises au secondaire: $I_{cth} = 150$ %
(signifie 150 % du courant primaire assigné pour chaque prise)

EXEMPLE 2

Pour un transformateur de courant comportant plusieurs circuits magnétiques de rapports différents (par exemple, 300/5 A et 4000/1 A): $I_{cth} = 450$ A
(signifie 450 A comme courant thermique permanent maximal pour tous les circuits magnétiques du transformateur de courant)

EXEMPLE 3

Pour un transformateur de courant avec couplage primaire (4x300/1 A): $I_{cth} = 4 \times 450$ A
(signifie courant thermique permanent de 450, 900 ou 1 800 A, en fonction de la couplage primaire)

Un transformateur de courant satisfaisant à plusieurs combinaisons de charges et de classes de précision peut être marqué suivant chacune d'elles.

EXEMPLE 4 5 VA cl. 0,5; 10 VA cl. 5P20

EXEMPLE 5 15 VA cl. 1; 7 VA cl. 0,5

EXEMPLE 6 5 VA cl.1 & 5P20

6.13.202.2 Marquage spécifique de la plaque signalétique d'un transformateur de courant pour mesure

La classe de précision et le facteur de sécurité (le cas échéant) doivent être mentionnés après l'indication de la puissance de sortie assignée correspondante.

EXEMPLE 1 15 VA cl. 0,5

EXEMPLE 2 15 VA cl. 0,5 FS 10

Pour les transformateurs de courant à gamme étendue (voir 5.6.201.5), cette indication doit figurer immédiatement après la classe de précision.

EXEMPLE 3 15 VA cl. 0,5 ext.150 % FS 10

Pour les transformateurs de courant à gamme de charge étendue (voir 5.6.201.4), cette indication doit figurer immédiatement avant l'indication de la classe.

EXEMPLE 4 1-10 VA classe 0,2 (gamme de charge de 1 à 10 VA de la classe 0,2)

NOTE La plaque signalétique peut contenir des indications concernant diverses combinaisons de rapport de transformation, de puissance de sortie et de classe de précision auxquelles le transformateur peut satisfaire pour le même rapport de transformation. Dans ce cas, des valeurs de puissance de sortie non normales peuvent être utilisées.

EXEMPLE 5 VA classe 1; 7 VA classe 0,5

6.13.202.3 Marquage spécifique de la plaque signalétique d'un transformateur de courant pour protection de classe P

Le facteur limite de précision assigné doit être indiqué après la puissance de sortie assignée et la classe de précision correspondantes.

EXEMPLE 30 VA classe 5P10

6.13.202.4 Marquage spécifique de la plaque signalétique des transformateurs de courant pour protection de classe PR

Le facteur limite de précision assigné doit être indiqué après la puissance de sortie assignée et la classe de précision correspondantes.

EXEMPLE 1 10 VA classe 5PR10

Si spécifiés, les valeurs suivantes doivent être indiquées:

- la constante de temps de la boucle secondaire (T_s);
- la limite supérieure de la résistance de l'enroulement secondaire (R_{ct}).

EXEMPLE 2 10 VA classe 5PR10, $T_s = 200$ ms, $R_{ct} \leq 2,4 \Omega$

6.13.202.5 Marquage spécifique de la plaque signalétique des transformateurs de courant pour protection de classes PX et PXR

Les exigences de classe peuvent être indiquées comme suit:

- le rapport des nombres de spires assigné;
- la force électromotrice de coude assignée (E_k);
- la limite supérieure du courant d'excitation (I_e) à la force électromotrice de coude assignée et/ou au pourcentage donné de celle-ci;
- la limite supérieure de la résistance de l'enroulement secondaire (R_{ct}).

EXEMPLE 1 classe PX, $E_k = 200$ V, $I_e \leq 0,2$ A, $R_{ct} \leq 2,0 \Omega$

Si spécifiés, les paramètres suivants doivent également être indiqués:

- le facteur de dimensionnement (K_x);
- la charge résistive assignée (R_b).

EXEMPLE 2 $E_k = 200$ V, $I_e \leq 0,2$ A, $R_{ct} \leq 2,0 \Omega$, $K_x = 40$, $R_b = 3,0 \Omega$

6.13.202.6 Marquage spécifique de la plaque signalétique des transformateurs de courant pour protection en régime transitoire

Le marquage de la classe est constitué des deux éléments suivants:

a) La partie définition (obligatoire)

contient les informations essentielles nécessaires pour déterminer si le transformateur de courant satisfait aux exigences données (constituées du cycle de fonctionnement et de T_p).

EXEMPLE 1 Application avec $K_{ssc} = 20$ et $K_{td} = 12,5$:

$R_b = 5 \Omega$, classe TPX 20x12,5, $R_{ct} \leq 2,8 \Omega$

$R_b = 5 \Omega$, classe TPY 20x12,5, $R_{ct} \leq 2,8 \Omega$, $T_s = 900$ ms

$R_b = 5 \Omega$, classe TPZ 20x12,5, $R_{ct} \leq 2,8 \Omega$

NOTE Pour R_{ct} , la valeur maximale du lot de fabrication peut être indiquée.

b) Partie complémentaire (obligatoire seulement si un cycle de fonctionnement est spécifié par l'acheteur): La partie complémentaire représente un des nombreux cycles de fonctionnement possibles, conduisant à la même valeur de K_{td} spécifié dans l'article a).

EXEMPLE 2

Cycle 100 ms, $T_p = 100$ ms	signifie $t'_{al} = 100$ ms, $T_p = 100$ ms
Cycle (40-100)-300-40 ms, $T_p = 100$ ms	signifie $t'_{al} = 40$ ms, $t' = 100$ ms, $t_{fr} = 300$ ms, $t''_{al} = 40$ ms, $T_p = 100$ ms
Cycle (100-100)-300-40 ms, $T_p = 75$ ms	signifie $t' = t'_{al} = 100$ ms, $t_{fr} = 300$ ms, $t''_{al} = 40$ ms, $T_p = 75$ ms

7 Essais

7.1 Généralités

7.1.2 Liste des essais

Le Tableau 10 de CEI 61869-1:2007 est remplacé par le nouveau Tableau 10.

Tableau 10 – Liste des essais

Essais	Paragraphe
Essais de type	7.2
Essai d'échauffement	7.2.2
Essai de tenue à la tension de choc sur les bornes primaires	7.2.3
Essai sous pluie pour les transformateurs de type extérieur	7.2.4
Essais de compatibilité électromagnétique	7.2.5
Essais concernant la précision	7.2.6
Vérification du degré de protection fourni par les enveloppes	7.2.7
Essai d'étanchéité de l'enveloppe à température ambiante	7.2.8
Essai de pression sur l'enveloppe	7.2.9
Essais de tenue aux courants de courte durée	7.2.201
Essais individuels de série	7.3
Essais de tenue à la tension à fréquence industrielle sur les bornes primaires	7.3.1
Mesure des décharges partielles	7.3.2
Essais de tenue à la tension à fréquence industrielle entre les sections	7.3.3
Essais de tenue à la tension à fréquence industrielle sur les bornes secondaires	7.3.4
Essais concernant la précision	7.3.5
Vérification des marquages	7.3.6
Essai d'étanchéité de l'enveloppe à température ambiante	7.3.7
Essai de pression sur l'enveloppe	7.3.8
Détermination de la résistance de l'enroulement secondaire	7.3.201
Détermination de la constante de temps de la boucle secondaire	7.3.202
Essai pour la force électromotrice de coude assignée et courant d'excitation à E_k	7.3.203
Essai de surtension entre spires	7.3.204
Essais spéciaux	7.4
Essai de tenue à la tension de choc coupée sur les bornes primaires	7.4.1
Essai de chocs coupés multiples sur les bornes primaires	7.4.2
Mesure de la capacité et du facteur de dissipation diélectrique	7.4.3
Essai de surtension transmise	7.4.4
Essais mécaniques	7.4.5
Essai de défaut d'arc interne	7.4.6
Essai d'étanchéité de l'enveloppe à basse et haute température	7.4.7
Essai de point de rosée du gaz	7.4.8
Essai de corrosion	7.4.9
Essai relatif au danger d'incendie	7.4.10
Essais sur prélèvements	7.5
Détermination du facteur de rémanence	7.5
Détermination du facteur de sécurité (FS) pour les appareils des transformateurs de courant pour mesure	7.5.2

Le Tableau 11 de la CEI 61869-1:2007 s'applique, en y ajoutant la note suivante:

Pour les transformateurs de courant GIS, les essais de précision peuvent être réalisés sans isolant gazeux.

7.2 Essais de type

7.2.2 Essai d'échauffement

Le paragraphe 7.2.2 de la CEI 61869-1:2007 s'applique avec les compléments suivants:

7.2.2.201 Montage d'essai

Le transformateur de courant doit être monté d'une manière représentative du montage en service et les enroulements secondaires doivent être raccordés à des charges selon 6.4.1. Toutefois, puisque la position du transformateur de courant dans chaque poste peut être différente, le choix de l'agencement du montage d'essai est laissé à l'appréciation du constructeur.

Pour les transformateurs de courant destinés à des postes triphasés sous enveloppe métallique à isolation gazeuse, les trois phases doivent être soumises à l'essai en même temps.

7.2.2.202 Mesure de la température ambiante

Les capteurs destinés à mesurer la température ambiante doivent être répartis autour du transformateur de courant, à une distance appropriée eu égard aux caractéristiques assignées du transformateur et environ à mi-hauteur de ce dernier. Ils doivent être protégés du rayonnement thermique direct.

Pour minimiser les effets de la variation de la température de l'air de refroidissement, en particulier pendant la dernière période d'essai, il convient d'utiliser des moyens appropriés pour les capteurs de température, tels que des dissipateurs de chaleur ayant une constante de temps approximativement égale à celle du transformateur.

La moyenne des relevés des deux capteurs doivent être utilisés pour l'essai.

7.2.2.203 Durée de l'essai

Il est possible de mettre fin à l'essai lorsque les deux conditions suivantes sont satisfaites:

- la durée de l'essai est au moins égale à trois fois la constante de temps thermique du transformateur de courant;
- la variation d'échauffement des enroulements (et de l'huile en tête des transformateurs immergés dans l'huile) ne doit pas dépasser 1 K par heure, pendant trois relevés d'échauffement consécutifs.

Le constructeur doit estimer la constante de temps thermique par l'une des méthodes suivantes:

- avant l'essai, en se basant sur les résultats d'essais précédents, réalisés sur un dispositif similaire. La constante de temps thermique doit être confirmée pendant l'essai d'échauffement;
- pendant l'essai, d'après la ou les courbes d'échauffement ou la ou les courbes de diminution de température enregistrées au cours de l'essai et calculées selon l'Annexe 2D;

- pendant l'essai, en tant que point d'intersection entre la tangente à la courbe d'échauffement partant de 0 et l'échauffement maximal estimé;
- pendant l'essai, à 63 % de l'échauffement maximal estimé.

7.2.2.204 Températures et échauffements

L'objectif de l'essai est de déterminer l'échauffement moyen des enroulements et, pour les transformateurs immergés dans l'huile, l'échauffement de l'huile en tête, en régime établi, lorsque les pertes résultant des conditions de service spécifiées sont générées dans le transformateur de courant.

La température moyenne des enroulements doit être déterminée si possible par la méthode de variation de résistance; pour les enroulements de très faible résistance, il est toutefois permis d'utiliser un thermomètre, un thermocouple ou d'autres capteurs de température.

Des thermomètres ou thermocouples doivent mesurer l'échauffement des parties autres que les enroulements. La température de l'huile en tête doit être mesurée au moyen de capteurs placés sur le haut de la tête métallique, qui est en contact direct avec l'huile.

L'échauffement doit être déterminé en tant que différence par rapport à la température ambiante, mesurée comme indiqué au paragraphe 7.2.2.202.

7.2.2.205 Modalités d'essai pour les transformateurs de courant avec $U_m < 550$ kV

L'essai doit être effectué en appliquant à l'enroulement primaire le courant thermique permanent assigné.

NOTE Sous réserve d'accord entre le constructeur et l'acheteur, le courant d'essai peut également être appliqué en alimentant un ou plusieurs enroulements secondaires, si les tensions aux bornes secondaires des noyaux alimentés sont aussi grandes que les tensions apparaissant lorsqu'ils sont branchés sur la charge assignée, l'enroulement primaire étant mis en court-circuit et le ou les enroulements secondaires non alimentés étant connectés à leurs charges assignées.

7.2.2.206 Modalités d'essai pour les transformateurs de courant immergés dans l'huile avec $U_m \geq 550$ kV

L'essai doit être effectué en appliquant simultanément au transformateur de courant:

- le courant thermique permanent assigné à l'enroulement primaire;
Le courant d'essai peut également être appliqué par excitation de un ou plusieurs enroulements secondaires si les tensions aux bornes secondaires des noyaux alimentés sont aussi grandes que les tensions apparaissant lorsqu'ils sont branchés sur la charge assignée, l'enroulement primaire étant mis en court-circuit et le ou les enroulements secondaires non alimentés étant connectés à leurs charges assignées.
- la tension la plus élevée du matériel divisée par $\sqrt{3}$ entre l'enroulement primaire et la terre. Une borne de chaque enroulement secondaire doit être connectée à la terre.

7.2.3 Essai de tenue à la tension de choc sur les bornes primaires

7.2.3.1 Généralités

Le paragraphe 7.2.3.1 de la CEI 61869-1:2007 s'applique avec les compléments suivants:

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 (le cas échéant), le circuit magnétique (s'il est prévu de le mettre à la terre) et toutes les bornes du ou des enroulements secondaires doivent être reliés à la terre.

Pour les transformateurs de courant triphasé destinés à des sous-stations à isolation gazeuse, chaque phase doit être soumise à l'essai individuellement. Lors de l'essai de chaque phase, les autres phases doivent être reliées à la terre.

Pour les critères d'acceptation des transformateurs sous enveloppe métallique à isolation gazeuse, se référer à l'Article 6.2.4 de la CEI 62271-203:2011.

7.2.6 Essais concernant la précision

7.2.6.201 Essai d'erreur de rapport et de déphasage des transformateurs de courant pour mesure

Pour prouver la conformité avec les paragraphes 5.6.201.3, 5.6.201.4 et 5.6.201.5, des mesures de la précision doivent être effectuées à chaque valeur de courant donnée respectivement dans le Tableau 201, le Tableau 202 et le Tableau 203, à la valeur la plus élevée et à la valeur la plus basse de la gamme de charge spécifiée.

Les transformateurs de courant à gamme de courant étendue doivent être soumis à l'essai avec le courant primaire étendu assigné au lieu de 120 % du courant assigné.

7.2.6.202 Détermination du facteur de sécurité (*FS*) pour les transformateurs de courant pour mesure

Il est permis d'effectuer un essai en utilisant la méthode d'essai indirect suivante:

L'enroulement primaire étant en circuit ouvert, l'enroulement secondaire est excité à la fréquence assignée par une tension pratiquement sinusoïdale. La tension doit être augmentée jusqu'à ce que le courant d'excitation I_e atteigne $I_{sr} \times FS \times 10\%$.

La valeur efficace de la tension obtenue aux bornes doit être inférieure à la force électromotrice limite secondaire E_{FS} (voir 3.4.206).

La tension d'excitation doit être mesurée avec un appareil qui donne une réponse proportionnelle à la valeur moyenne du signal redressé, mais est gradué en valeur efficace. Le courant d'excitation doit être mesuré à l'aide d'un appareil de mesure de valeur efficace ayant un facteur de crête de 3.

S'il convient de mettre en doute le résultat de la mesure, une mesure plus approfondie doit être effectuée par le biais d'un essai direct (voir Annexes 2A.5 et 2A.6) pour vérifier le résultat. Le résultat de l'essai direct devient alors la référence.

NOTE L'essai indirect présente le grand avantage de ne nécessiter ni courants élevés (par exemple, 30 000 A pour un courant primaire assigné de 3 000 A et un facteur de sécurité pour les appareils de 10), ni charges conçues pour supporter un courant de 50 A. Lors de l'essai indirect, l'effet dû aux conducteurs primaires de retour n'intervient pas physiquement. En service, cet effet peut seulement majorer l'erreur composée, ce qui est souhaitable pour la sécurité de l'appareil alimenté par le transformateur de courant pour mesure.

7.2.6.203 Essai d'erreur composée des transformateurs de courant pour protection de classes P et PR

Les deux procédures d'essai suivantes sont données:

- a) La conformité avec les limites de l'erreur composée indiquées dans le Tableau 205 doit être prouvée par un essai direct pendant lequel on fait passer dans l'enroulement primaire un courant pratiquement sinusoïdal, égal au courant limite de précision assigné, le secondaire étant connecté à une charge de valeur égale à la charge assignée. Le facteur de puissance de la charge d'essai doit être choisi par le constructeur entre 0,8 (circuit inductif) et 1,0, quelle que soit la charge assignée (voir Annexes 2A.4, 2A.5, 2A.6 et 2A.7).

Il est permis d'effectuer l'essai sur un transformateur similaire au transformateur fourni, l'isolation pouvant être réduite, pourvu que la disposition géométrique soit la même dans les deux cas.

Dans le cas de courants primaires très élevés et de transformateurs de courant à barre primaire, il convient de tenir compte de la distance entre le conducteur de retour du primaire et le transformateur de courant afin de reproduire autant que possible les conditions de service.

- b) Pour les transformateur de courant à faible réactance de fuite selon l'Annexe 2C, il est permis de remplacer l'essai direct par l'essai indirect suivant:

L'enroulement primaire étant en circuit ouvert, l'enroulement secondaire est excité à la fréquence assignée par une tension pratiquement sinusoïdale de valeur efficace égale à la force électromotrice limite secondaire E_{ALF} .

Le courant d'excitation ainsi obtenu, exprimé en pourcentage de $I_{sr} \times ALF$ ne doit pas dépasser la limite de l'erreur composée indiquée au Tableau 205.

La tension d'excitation doit être mesurée avec un appareil qui donne une réponse proportionnelle à la valeur moyenne du signal redressé, mais est gradué en valeur efficace. Le courant d'excitation doit être mesuré à l'aide d'un appareil de mesure de valeur efficace ayant un facteur de crête de 3.

Lors de la détermination de l'erreur composée par la méthode indirecte, il n'est pas nécessaire de tenir compte d'une éventuelle correction du rapport des nombres de spires.

7.2.6.204 Détermination de l'erreur aux conditions limites des transformateurs de courant pour protection de classes TPX, TPY et TPZ

L'objectif de cet essai de type est de prouver la conformité avec les exigences aux conditions limites. Pour les méthodes d'essai, se référer à l'Annexe 2B.

Si le transformateur de courant est du type à faible réactance de fuite selon l'Annexe 2C, un essai indirect peut être effectué selon 2B.2, sinon un essai direct doit être effectué selon 2B.3.

L'essai peut être effectué sur un modèle en grandeur réelle de la partie active du transformateur de courant, avec toutes les enveloppes métalliques, mais sans isolation.

7.2.6.205 Essai des transformateurs de courant du type à faible réactance de fuite pour classes de protection PX et PXR

La preuve qu'il s'agit d'un transformateur de courant à faible réactance de fuite doit être établie selon l'Annexe 2C.

7.2.6.206 Détermination du facteur de rémanence des transformateurs de courant pour classes de protection PR, TPY et PXR

Le facteur de rémanence (K_R) doit être déterminé pour les transformateurs de courant des classes suivantes, afin de prouver leur conformité avec les articles correspondants:

Classe PR: Article 5.6.202.3.5,

Classe PXR: Article 5.6.202.5.2,

Classe TPY: Article 5.6.202.4.

Pour les méthodes d'essai, se référer à l'Annexe 2B.2.

7.2.201 Essais de tenue aux courants de courte durée

Pour vérifier la conformité avec les exigences de courant de court-circuit thermique assigné et de courant dynamique assigné données au paragraphe 5.204, les deux essais suivants sont spécifiés.

L'essai thermique doit être réalisé avec le ou les enroulements secondaires mis en court-circuit, à un courant I' et pendant un temps t' tels que

$$I'^2 \times t' \geq I_{th}^2 \times t$$

où t est la valeur de la durée du courant de court-circuit thermique.

La valeur de t' soit comprise entre 0,5 s et 5 s.

L'essai dynamique doit être effectué aussi avec le ou les enroulements secondaires mis en court-circuit et avec un courant primaire dont la valeur de crête est supérieure ou égale au courant dynamique assigné (I_{dyn}), pendant au moins une crête.

Il est permis de combiner l'essai dynamique avec l'essai thermique ci-dessus, à condition que le premier courant de crête principal soit supérieur ou égal au courant dynamique assigné (I_{dyn}).

On doit considérer que le transformateur a réussi ces essais si, une fois revenu à température ambiante (entre 10 °C et 40 °C), il satisfait aux exigences suivantes:

- a) il n'est pas endommagé de manière apparente;
- b) ses erreurs après démagnétisation ne diffèrent pas de celles relevées avant les essais de plus de la moitié des limites d'erreur correspondant à sa classe de précision;
- c) il supporte les essais diélectriques spécifiés aux paragraphes 7.3.1, 7.3.2, 7.3.3 et 7.3.4, mais avec des tensions ou des courants d'essai réduits à 90 % de ceux qui sont indiqués;
- d) l'examen de l'isolation à proximité de la surface du conducteur ne révèle aucune détérioration sensible (par exemple, une carbonisation).

L'examen d) n'est pas requis si la densité du courant dans l'enroulement primaire, correspondant au courant de court-circuit thermique assigné (I_{th}), ne dépasse pas:

- 180 A/mm², lorsque l'enroulement est en cuivre de conductivité supérieure ou égale à 97 % de la valeur indiquée dans la CEI 60028;
- 120 A/mm², lorsque l'enroulement est en aluminium de conductivité supérieure ou égale à 97 % de la valeur indiquée dans la CEI 60121.

NOTE L'expérience montre qu'en service, les exigences concernant le courant thermique sont généralement satisfaites pour une isolation de classe A, à condition que la densité du courant dans l'enroulement primaire, correspondant au courant de court-circuit thermique assigné, ne dépasse pas les valeurs susmentionnées.

7.3 Essais individuels de série

7.3.1 Essais de tenue à la tension à fréquence industrielle sur les bornes primaires

Le présent article de la CEI 61689-1 s'applique avec les compléments suivants:

La tension d'essai doit être appliquée entre l'enroulement primaire mis en court-circuit et la terre. Le ou les enroulements secondaires mis en court-circuit, le châssis, la cuve (le cas échéant) et le circuit magnétique (s'il y a une borne spéciale de mise à la terre) doivent être reliés à la terre.

7.3.5 Essais concernant la précision

7.3.5.201 Essais d'erreur de rapport et de déphasage des transformateurs de courant pour mesure

L'essai individuel de série visant à déterminer la précision est en principe le même que l'essai de type décrit au paragraphe 7.2.6.201; cependant, des essais individuels de série avec un nombre réduit de courants et/ou de charges sont autorisés, sous réserve que des essais de type sur un transformateur analogue aient montré que ce nombre d'essais réduit suffit pour prouver la conformité avec le paragraphe 5.6.201.3.

7.3.5.202 Essais d'erreur de rapport et de déphasage des transformateurs de courant pour protection de classes P et PR

Des essais doivent être effectués au courant primaire assigné, la charge secondaire étant égale à la charge assignée, afin de prouver la conformité avec les paragraphes 5.6.202.2 et 5.6.202.3, respectivement, en ce qui concerne l'erreur de rapport et le déphasage.

7.3.5.203 Essai d'erreur composée des transformateurs de courant pour protection de classes P et PR

Pour les transformateur de courant à faible réactance de fuite (voir l'Annexe 2C), l'essai individuel de série est le même que l'essai indirect de type spécifié au point b) du paragraphe 7.2.6.203.

Pour les autres transformateurs, l'essai indirect spécifié au point b) du paragraphe 7.2.6.203 peut être utilisé, mais on doit appliquer au courant d'excitation un facteur de correction. Ce facteur est obtenu par comparaison entre les résultats des essais direct et indirect réalisés sur un transformateur de même type que le transformateur à l'essai, avec le même facteur limite de précision et les mêmes conditions de charge. Dans ces cas, il convient que le constructeur tienne à disposition un certificat d'essai.

NOTE 1 Le facteur de correction est égal au rapport entre l'erreur composée obtenue par la méthode directe et le courant d'excitation, exprimé en pourcentage de $I_{sr} \times ALF$ déterminé par la méthode indirecte.

NOTE 2 L'expression «transformateur du même type» implique que la force magnétomotrice (ampères-tours) soit la même, indépendamment du rapport de transformation, et que les enroulements secondaires ainsi que les agencements géométriques et les matériaux du circuit magnétique soient identiques.

7.3.5.204 Essai d'erreur de rapport et de déphasage des transformateurs de courant pour protection de classes TPX, TPY et TPZ

L'erreur de rapport et le déphasage doivent être mesurés au courant assigné pour prouver la conformité avec le paragraphe 5.6.202.5.1.

Les résultats doivent correspondre à une température de l'enroulement secondaire de 75 °C.

La valeur réelle de la température de l'enroulement secondaire doit donc être mesurée et la différence par rapport à sa valeur ramenée à 75 °C doit être déterminée. La mesure de l'erreur doit être effectuée avec la charge R_b majorée de la différence de résistance d'enroulement mentionnée ci-dessus.

En variante, pour les circuits magnétiques TPY et TPZ, il est permis de déterminer le déphasage à 75 °C ($\Delta\varphi_{75}$) par une mesure à température ambiante ($\Delta\varphi_{amb}$) et le calcul suivant:

$$\Delta\varphi_{75} = \Delta\varphi_{amb} \frac{R_{ct} + R_b}{R_{ctamb} + R_b}$$

où R_{ctamb} est la résistance de l'enroulement à température ambiante. L'erreur de rapport n'est pas affectée par cette correction de résistance.

Pour l'essai de type et l'essai individuel de série, une méthode d'essai directe (utilisant une source de courant primaire et un transformateur de courant de référence) doit être appliquée.

Pour les transformateurs de courant à faible réactance de fuite, une méthode d'essai indirecte est donnée à l'Annexe 2E. Il est permis d'appliquer cette méthode aux mesures sur site et à la surveillance.

7.3.5.205 Détermination de l'erreur dans les conditions limites des transformateurs de courant pour protection de classes TPX, TPY et TPZ

L'objectif de cet essai individuel de série est de prouver la conformité avec les exigences aux conditions limites.

Si le transformateur de courant est du type à faible réactance de fuite selon l'Annexe 2C, un essai indirect doit être effectué selon 2B.2.

Si la conformité avec les exigences de limites de type à faible réactance de fuite ne peut être établie, mais si un essai de type du même type est à disposition, un essai indirect doit être effectué selon 2B.2. Dans ce cas, on doit prendre en compte le facteur de construction éventuellement disponible F_C s'il est supérieur à 1,1. Si un tel essai de type n'est pas disponible, un essai de type doit être effectué avec une pièce du lot de fabrication. Le résultat de cet essai devient alors la référence pour l'essai indirect des autres pièces.

NOTE 1 Pour déterminer le facteur F_C , les laboratoires doivent prendre en compte une grande incertitude de mesure à cause de la nécessité d'intégrer la force électromotrice, et à cause des paramètres non-linéaires aux conditions limites. De plus, seulement quelques laboratoires peuvent réaliser les cycles de fonctionnement demandés. En conséquence, les résultats des essais directs et indirects ne correspondent pas bien, et peut résulter en des valeurs de F_C non fiables. Cependant, une petite expérience existe dans ce domaine.

NOTE 2 L'expression «transformateur du même type» implique que la force magnétomotrice (ampères-tours) soit similaire, indépendamment du rapport de transformation, et que les matériaux et l'arrangement du noyau et de l'enroulement secondaire sont identiques.

7.3.5.206 Détermination du rapport du nombre de spires des transformateurs de courant pour protection de classes PX et PXR

Pour les classes PX et PXR, le rapport du nombre de spires doit être déterminé conformément à l'Annexe 2F.

Il est permis de remplacer cet essai par une mesure de l'erreur de rapport avec une charge nulle, sous réserve d'accord entre le constructeur et l'acheteur.

Le rapport du nombre de spires ne doit pas dépasser la limite selon 5.6.202.4.

7.3.201 Détermination de la résistance de l'enroulement secondaire (R_{ct})

La résistance de l'enroulement secondaire (R_{ct}) doit être mesurée sur les transformateurs de courant des classes suivantes, afin de prouver leur conformité avec les articles correspondants:

Classe PR:	Articles 5.6.202.3.7 et 6.13.202.4 (si le paramètre est spécifié)
------------	---

Classe PX, PXR:	Articles 5.6.202.4 et 6.13.202.5
-----------------	----------------------------------

Classes TPX, TPY, TPZ: Article 6.13.202.6

La valeur mesurée doit être corrigée à une température de 75°C ou à la température qui est spécifiée.

Pour les classes PR, PX et PXR, la valeur résultante après la correction à 75°C ne doit pas dépasser la limite maximale spécifiée (si définie).

7.3.202 Détermination de la constante de temps de la boucle secondaire (T_s)

La constante de temps de la boucle secondaire (T_s) doit être déterminée pour les transformateurs de courant des classes suivantes, afin de prouver leur conformité avec les articles correspondants:

Classes PR: Article 5.6.202.3.6 (si le paramètre est spécifié)

Classes TPY: Article 5.6.202.5.3

Sa valeur ne doit pas différer de quelque valeur spécifiée de plus de $\pm 30 \%$.

T_s sera déterminée selon la l'équation suivante (Détermination de L_m : voir 2B.2):

$$T_s = \frac{L_m}{(R_{ct} + R_b)}$$

Dans les cas où la charge correspond à la puissance de sortie assignée, exprimée en VA, R_b est considérée comme étant égal à la partie résistive de la charge.

Il est également permis de déterminer T_s selon l'équation suivante:

$$T_s = \frac{1}{2\pi f_R \times \tan(\Delta\phi)}$$

Si le déphasage $\Delta\phi$ est exprimé en minutes, on peut appliquer la formule d'approximation suivante:

$$T_s [s] = \frac{3438}{2\pi f_R \times \Delta\phi [\text{min}]}$$

NOTE 1 La méthode utilisant $\Delta\phi$ peut provoquer des difficultés pour les transformateurs à rapport élevé et faible déphasage en raison de l'incertitude de la mesure d'un faible déphasage.

NOTE 2 Pour les noyaux de la classe TPZ, il n'est pas nécessaire d'indiquer T_s . L'exigence de précision $\Delta\phi = (180 \pm 18) \text{ min}$ est vérifiée comme essai individuel de série. La formule susmentionnée fournit la valeur de T_s .

7.3.203 Essai pour la force électromotrice de coude assignée (E_k) et le courant d'excitation à E_k

La force électromotrice de coude assignée (E_k) doit être vérifiée et le courant d'excitation I_e doit être mesuré sur les transformateurs de courant des classes suivantes, afin de prouver leur conformité avec les articles correspondants:

Classe PX, PXR: Article 5.6.202.4

Une tension d'excitation sinusoïdale adéquate, à la fréquence assignée, doit être appliquée aux bornes secondaires de l'enroulement secondaire complet du transformateur, toutes les autres bornes étant en circuit ouvert, et le courant d'excitation doit être mesuré.

La tension d'excitation doit être mesurée avec un appareil qui donne une réponse proportionnelle à la valeur moyenne du signal redressé, mais est gradué en valeur efficace. Le courant d'excitation doit être mesuré à l'aide d'un appareil de mesure de valeur efficace ayant un facteur de crête de 3.

La caractéristique d'excitation doit être tracée au moins jusqu'à $1.1 \times E_k$.

La condition du point de coude définie en 3.4.215 doit être satisfaite à une tension égale à la force électromotrice de coude E_k .

Le courant d'excitation I_e à une tension égale à E_k (ou à tout pourcentage donné), ne doit pas dépasser la valeur spécifiée.

NOTE 1 Pour les transformateurs de courant à rapport de transformation sélectionnable par des prises sur l'enroulement secondaire, il est permis de calculer la caractéristique d'excitation pour les rapports différents du rapport maximal. Pour chaque point de mesure, les équations suivantes peuvent être appliquées:

$$E_2 = E_1 \times \frac{k_{r2}}{k_{r1}}$$

$$I_{e2} = I_{e1} \times \frac{k_{r1}}{k_{r2}}$$

où k_{r1}, k_{r2} sont les deux rapports de transformation;
 E_1, E_2 sont les deux forces électromotrices adéquates;
 I_{e1}, I_{e2} sont les deux courants d'excitation adéquates.

NOTE 2 Le nombre de points de mesure peut être convenu entre le constructeur et l'acheteur.

NOTE 3 Normalement, la force électromotrice du point de coude réel est déterminée et doit être supérieure à la force électromotrice de coude assignée.

7.3.204 Essai de surtension entre spires

Des essais doivent être effectués afin de prouver la conformité avec le paragraphe 5.3.201.

L'essai de surtension entre spires doit être effectué sur l'enroulement secondaire complet selon l'une des procédures suivantes. Sauf convention contraire, le choix de la procédure est laissé au constructeur.

Procédure A: 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, de fréquence comprise entre 40 Hz et 60 Hz et de valeur efficace égale au courant primaire assigné (ou au courant primaire étendu assigné, si spécifié), doit être appliqué pendant 60 s à l'enroulement primaire.

Le courant appliqué doit être limité si l'on obtient la tension d'essai donnée au paragraphe 5.3.201 avant d'atteindre le courant primaire assigné (ou le courant primaire étendu assigné).

Si la tension d'essai donnée au paragraphe 5.3.201 n'est pas atteinte au courant primaire maximum, la tension obtenue doit être considérée comme la tension d'essai.

Procédure B: l'enroulement primaire étant en circuit ouvert, la tension d'essai donnée au paragraphe 5.3.201 (à une fréquence d'essai adéquate) doit être appliquée pendant 60 s aux bornes de chaque enroulement secondaire.

La valeur efficace du courant secondaire ne doit pas dépasser le courant secondaire assigné (ou la valeur étendue correspondante, si spécifié).

La fréquence d'essai choisie doit permettre d'atteindre la tension d'essai, mais ne doit pas dépasser 400 Hz.

Si la tension d'essai donnée au paragraphe 5.3.201 n'est pas atteinte au courant secondaire maximum et à la fréquence d'essai maximum, la tension obtenue doit être considérée comme la tension d'essai.

Lorsque la fréquence d'essai dépasse deux fois la fréquence assignée, la durée de l'essai t doit être réduite comme suit:

$$t = 120 \text{ s} \times \frac{f_R}{f_T}$$

où

f_R est la fréquence assignée;
 f_T est la fréquence d'essai;

avec un t minimum de 15 s.

NOTE L'essai de surtension entre spires n'est pas destiné à vérifier l'adéquation d'un transformateur de courant au fonctionnement avec l'enroulement secondaire en circuit ouvert. Il convient de ne pas faire fonctionner les transformateurs de courant avec l'enroulement secondaire en circuit ouvert en raison des surtensions et des échauffements potentiellement dangereux qui peuvent apparaître.

7.4 Essais spéciaux

7.4.3 Mesure de la capacité et du facteur de dissipation diélectrique

L'article de la CEI 61869-1:2007 s'applique avec les compléments suivants:

La tension d'essai doit être appliquée entre les bornes de l'enroulement primaire mis en court-circuit et la terre. En général, les bornes de l'enroulement ou des enroulements secondaires mis en court-circuit, tout écran et la carcasse métallique isolée doivent être reliés à l'appareil de mesure. Si le transformateur de courant comporte une borne spéciale adaptée à cette mesure, les autres bornes à basse tension doivent être mises en court-circuit et reliées, de même que la carcasse métallique, à la terre ou à l'écran de l'appareil de mesure.

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

7.4.6 Essai de défaut d'arc interne

L'article de la CEI 61869-1:2007 s'applique, en y ajoutant la note suivante:

NOTE Pour les transformateurs de courant immergés dans l'huile avec partie active en tête, la zone d'origine des défauts en service se situe souvent dans la partie supérieure de l'isolation principale. Pour les transformateurs de courant de type épingle à cheveux immergés dans l'huile, cette zone se situe généralement dans la partie inférieure de l'isolation principale.

7.5 Essais sur prélèvements

7.5.1 Détermination du facteur de rémanence

Normalement, un essai sur prélèvement est répété pour chaque série de production, selon l'essai de type 7.2.6.206.

7.5.2 Détermination du facteur de sécurité (FS) pour les transformateurs de courant pour mesure

Normalement, un essai sur prélèvement est répété pour chaque série de production, selon l'essai de type 7.2.6.202.

Annexe 2A (normative)

Transformateurs de courant pour protection de classes P et PR

2A.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 magnétique qui seront également sinusoïdaux, et le fonctionnement du transformateur pourra se représenter par le diagramme vectoriel de la Figure 2A.1.

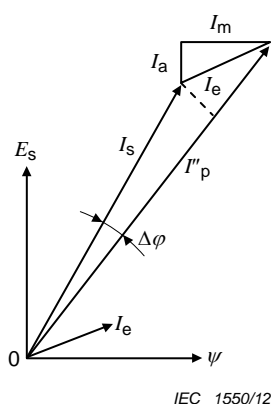


Figure 2A.1 – Diagramme vectoriel

Dans la Figure 2A.1, 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 embrassé par l'enroulement secondaire ψ 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 ψ 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 multiplié par le rapport d'enroulement réel (c'est-à-dire par le rapport entre les nombres de spires primaires et secondaires).

Il en résulte que pour un transformateur dont le rapport du nombre de spires est inverse 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 3.4.3) tandis que l'écart angulaire $\Delta\varphi$ entre les vecteurs I_s et I''_p est le déphasage (défini en 3.4.4).

2A.2 Correction de spires

Lorsque l'inverse du rapport du nombre de spires 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 multiplié par le rapport d'enroulement réel 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 rapport (ε).

2A.3 Triangle d'erreur

Sur la Figure 2A.2, la partie supérieure de la Figure 2A.1 est redessinée à plus grande échelle et avec l'hypothèse que l'angle de phase est assez petit pour que l'on puisse considérer que les deux vecteurs I_s et I_p'' sont parallèles. Supposant aussi l'absence de correction de spires, on obtient l'erreur de rapport (ε) avec une bonne approximation en projetant I_e sur I_p et en utilisant la composante (ΔI) de I_e en phase avec I_p'' au lieu de la différence arithmétique entre I_p' et I_s . De même, la composante (ΔI_q) de I_e en quadrature peut être utilisée pour exprimer l'erreur de phase.

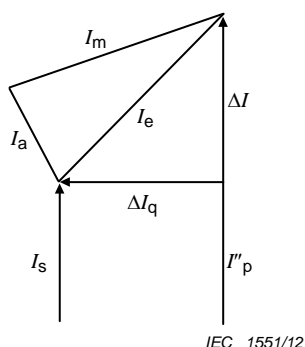


Figure 2A.2 – Triangle d'erreur

On peut en outre voir qu'avec les mêmes hypothèses, le courant d'excitation I_e divisé par I_p'' est égal à l'erreur composée selon le paragraphe 3.4.203.

En définitive, pour un transformateur de courant sans correction de spires, pourvu que la représentation vectorielle soit valable, l'erreur de rapport (ε), 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 et dépend de l'impédance totale constituée de la charge et de l'enroulement secondaire (somme vectorielle), tandis que la décomposition en erreur de rapport (ε) et en déphasage dépend du facteur de puissance de cette impédance totale et de celui du courant d'excitation. On obtient une erreur de phase nulle lorsque ces deux facteurs de puissance sont égaux, i.e. quand I_s et I_e sont en phase.

2A.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 2A.3).

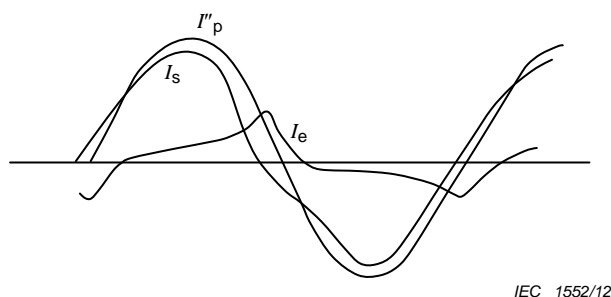


Figure 2A.3 – Forme d'onde typique

C'est la raison pour laquelle l'erreur composée est définie au paragraphe 3.4.203 et non, de manière bien plus simple, par la somme vectorielle de l'erreur de rapport (ε) et du déphasage, comme illustré à la Figure 2A.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).

2A.5 Méthode directe de mesure de l'erreur composée

La méthode normale est donnée par l'enregistrement numérique des formes d'onde des courants primaire et secondaire, suivi par le calcul de l'erreur composée, utilisant la méthode d'intégration numérique selon la définition donnée en 3.4.203.

Néanmoins, dans cette annexe, les méthodes traditionnelles pour la détermination de l'erreur composée avec des instruments analogiques sont décrites.

La Figure 2A.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 paragraphe 3.4.203, compte tenu des conditions actuelles.

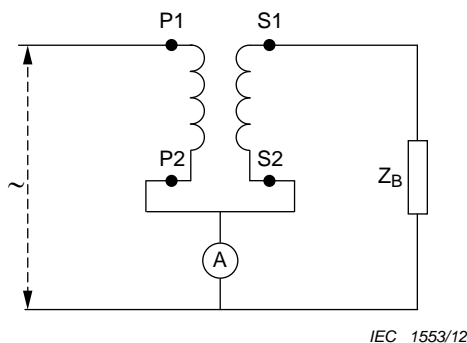


Figure 2A.4 – Circuit de base pour transformateur de courant 1:1

La Figure 2A.4 représente donc le schéma de principe pour la mesure directe de l'erreur composée.

La Figure 2A.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.

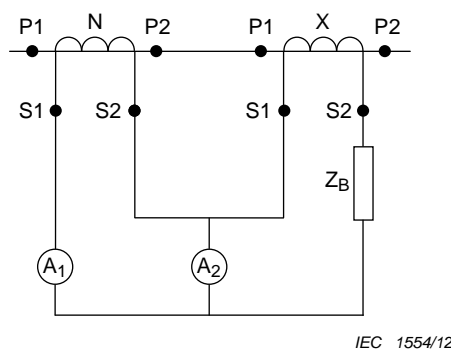


Figure 2A.5 – Circuit de base pour transformateur de rapport quelconque

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.

2A.6 Autre méthode de mesure directe de l'erreur composée

D'autres méthodes directes de détermination de l'erreur composée peuvent être utilisées pour mesurer l'erreur composée et une méthode est illustrée à la Figure 2A.6.

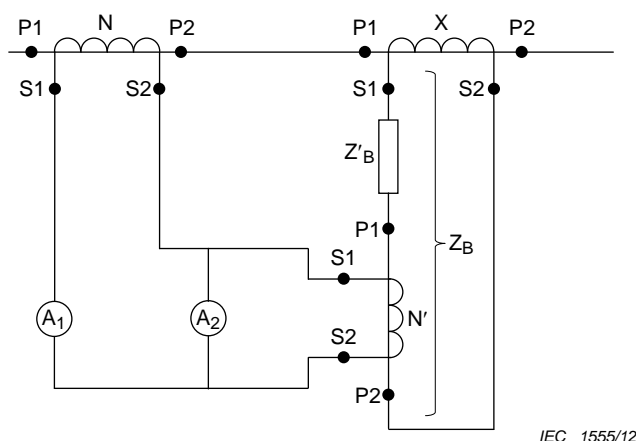


Figure 2A.6 – Variante de circuit d'essai

La méthode schématiquement représentée par la Figure 2A.6, présente sur celle illustrée par la Figure 2A.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 2A.6 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 2A.6, X est le transformateur sous essai. 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_r , k_{rx} et k'_r , le rapport k_r doit être égal au produit de k'_r par k_{rx} :

$$k_r = k'_r \times k_{rx}$$

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 Figure 2A.5 et Figure 2A.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 2A.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.

2A.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 rapport (ε) 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 rapport (ε) que du déphasage.

L'erreur de rapport (ε) 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 de courant qui doit être prise en considération.

Un avantage supplémentaire de la limitation de l'erreur composée réside dans la limitation résultante de la teneur en harmoniques du courant secondaire, qui est nécessaire pour le bon fonctionnement de certains types de relais.

Annexe 2B (normative)

Classes de transformateurs de courant pour protection pour réponse en régime transitoire

2B.1 Equations théoriques fondamentales relatives au dimensionnement pour le régime transitoire

2B.1.1 Court-circuit

Les équations suivantes correspondent au cycle de fonctionnement C-O. Pour les cycles de fonctionnement C-O-C-O voir 2B.1.3

L'expression générale de la valeur instantanée d'un courant de court-circuit peut s'écrire:

$$i_k(t) = \sqrt{2} I_{psc} \left[e^{-t/T_p} \cos(\gamma - \varphi) - \cos(\omega t + \gamma - \varphi) \right] \quad (2B.1)$$

où

I_{psc}

est le courant alternatif de court-circuit initial à la limite de précision du transformateur de courant $I_{psc} = K_{ssc} \times I_{pr}$;

$T_p = \frac{L_p}{R_p}$

est la constante de temps du primaire;

γ

est l' angle d'enclenchement ou d'apparition du défaut;

$\varphi = \arctan \frac{X_p}{R_p} = \arctan(\omega T_p)$

est l' angle de phase de l'impédance de court-circuit du système;

ω

est la pulsation $2\pi f_R$;

lorsque la source de tension équivalente dans le court-circuit avec R_p et X_p est

$$u(t) = -U_{\max} \cos(\omega t + \gamma) \quad (2B.2)$$

Pour simplifier, l'angle d'apparition du défaut et l'angle d'impédance du système peuvent être additionnés en un seul angle, ce qui rend le calcul plus facile à comprendre du point de vue mathématique.

$$\theta = \gamma - \varphi \quad (2B.3)$$

$$i_k(t) = \sqrt{2} I_{psc} \left[e^{-t/T_p} \cos(\theta) - \cos(\omega t + \theta) \right] \quad (2B.4)$$

Les angles θ et γ décrivent tous les deux la possibilité de la variation de l'angle d'enclenchement. Ils peuvent donc être également utilisés lorsqu'ils sont appropriés, mais en fonction de leur définition.

La Figure 2B.1 représente deux courants de court-circuit primaire types. Le premier apparaît à un angle d'apparition de défaut $\gamma = 90^\circ$, ce qui conduit au courant de crête le plus élevé et au flux de crête embrassé par l'enroulement secondaire le plus élevé pour un t'_{al} long (voir Figure 2B.2), tandis que le second apparaît à $\gamma = 140^\circ$, ce qui conduit à une asymétrie moindre. Cependant, pour un t'_{al} court, ce dernier cas conduit à un courant et un flux plus élevé que dans le cas du courant de crête le plus grand.

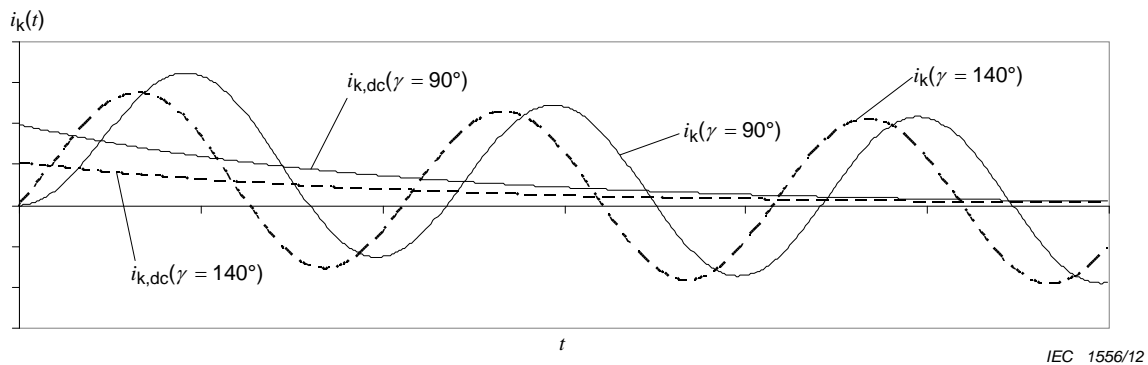


Figure 2B.1 – Courants de court-circuit présentant la crête la plus élevée ($\gamma = 90^\circ$) et présentant une asymétrie inférieure ($\gamma = 140^\circ$)

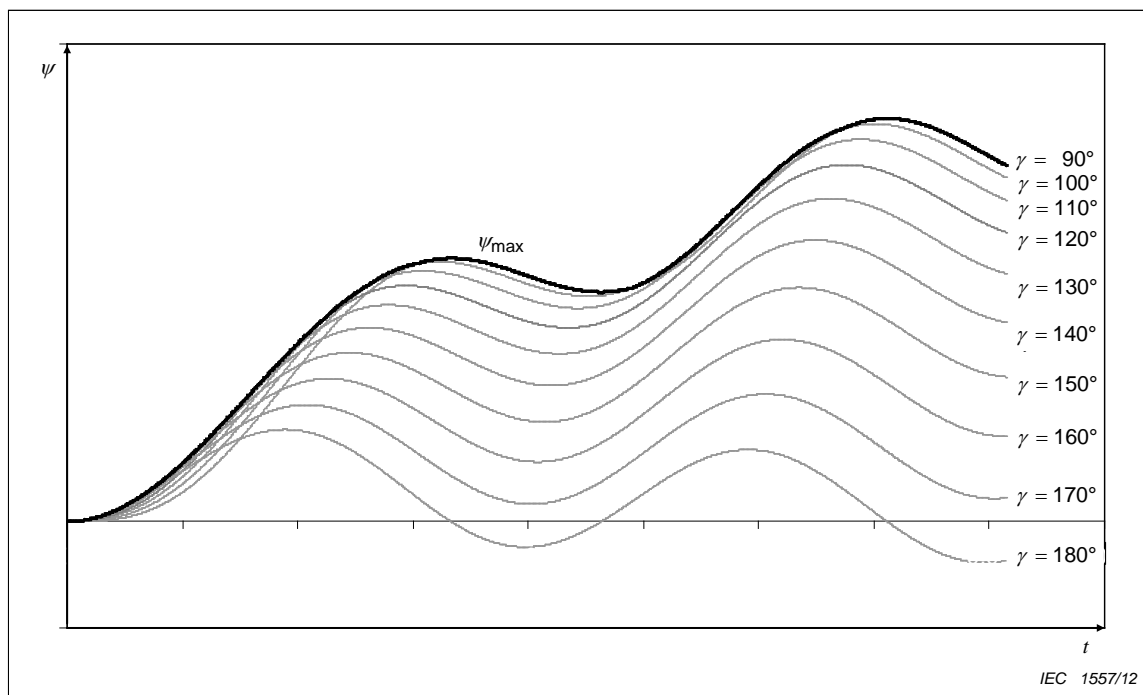


Figure 2B.2 – La courbe $\psi_{\max}(t)$, composée des valeurs de flux les plus élevées, considérant tous les angles d'enclenchement γ appréciables

Il est possible d'utiliser une plage d'angle d'apparition de défaut éventuellement réduite pour définir une asymétrie réduite, ce qui peut aboutir à un facteur K_{td} réduit dans certains cas particuliers.

NOTE La possibilité de limiter l'angle d'apparition du courant n'est pas traitée dans cette norme, mais sera discutée dans le Rapport Technique IEC 61869-100

2B.1.2 Facteur de dimensionnement pour le régime transitoire K_{td}

Le facteur de dimensionnement pour le régime transitoire K_{td} est le paramètre final du dimensionnement du circuit magnétique. Il est mentionné sur la plaque signalétique. Il peut être calculé d'après différentes fonctions du facteur transitoire K_{tf} , comme indiqué dans les équations ci-dessous et représenté à la Figure 2B.3.

Dans certains cas, le système de protection associé peut avoir besoin d'une valeur t'_{al} qui n'est pas constante et dépend de différents paramètres du courant de court-circuit. Aussi le constructeur du système de protection peut indiquer le facteur de dimensionnement pour le régime transitoire K_{td} , en raison d'essais de stabilité au système de protection.

Le facteur transitoire K_{tf} donné dans cette partie est déterminé à l'aide de l'équation différentielle du circuit équivalent, avec une inductance constante du circuit magnétique du transformateur de courant, avec une charge ohmique et sans tenir compte de la rémanence. Les solutions de l'équation différentielle sont données soit sous forme de diagrammes de courbes, soit comme formules simplifiées.

NOTE L'équation différentielle et la solution exacte sont données dans le Rapport Technique CEI 61869-100 TR.

K_{tf} et le flux embrassé par l'enroulement secondaire dépendent tous deux du temps et, au final, du temps limite de précision t'_{al} requis par le système de protection. Si l'on effectue un calcul avec l'inductance linéaire, la solution n'est valide que jusqu'à la première saturation du transformateur de courant.

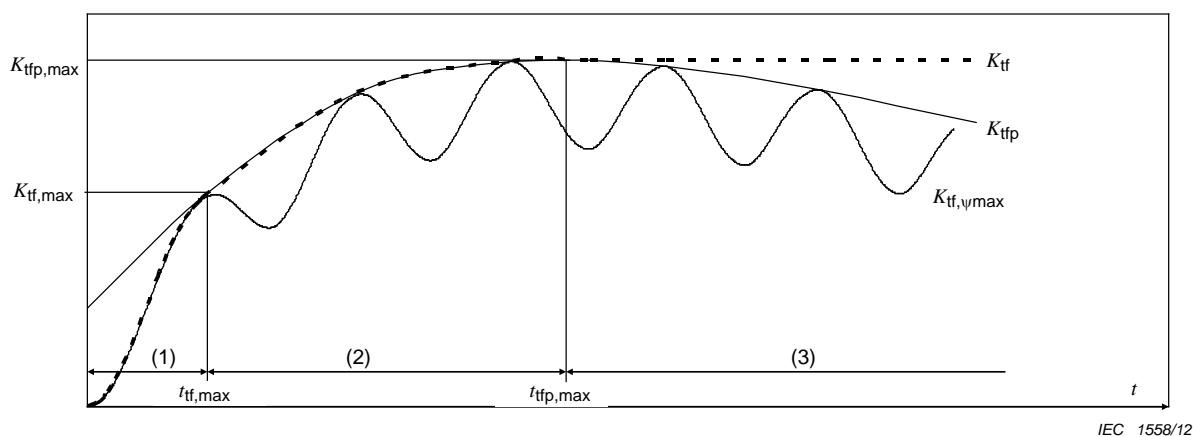


Figure 2B.3 – Plages de temps appropriées pour le calcul du facteur transitoire

Dans la Figure 2B.3, la courbe $K_{tf,\psi_{\max}}$ est construite comme suit:

Pour chaque point de temps de la courbe ψ_{\max} (Figure 2B.2), la valeur K_{tf} est calculée selon 3.4.233. K_{tfp} est la courbe d'enveloppe correspondante. La courbe du facteur transitoire est constituée de trois plages définies par trois fonctions de K_{tf} :

Plage 1: $0 \leq t_{al} < t_{tf,max}$:

Dans la première plage, la courbe K_{tf} suit la courbe $K_{tf,\psi_{\max}}$. La plage commence au temps zéro et se termine lorsque la courbe $K_{tf,\psi_{\max}}$ touche sa courbe enveloppe de crête K_{tfp} au temps

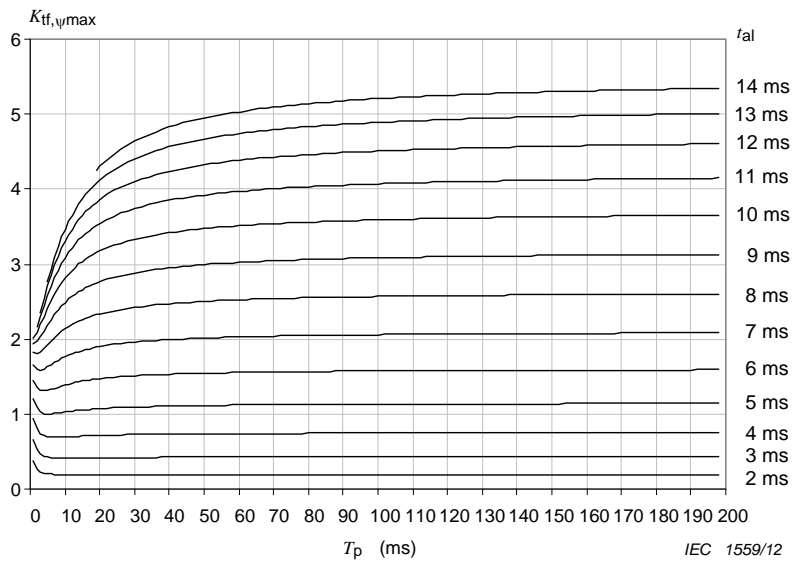
$$t_{tf,max} = \frac{\pi + \varphi}{\omega} \quad (2B.5)$$

L'équation (2B,5) est la simplification d'une équation plus générale avec $\gamma = 90^\circ$, mais elle est convenable pour l'application pratique.

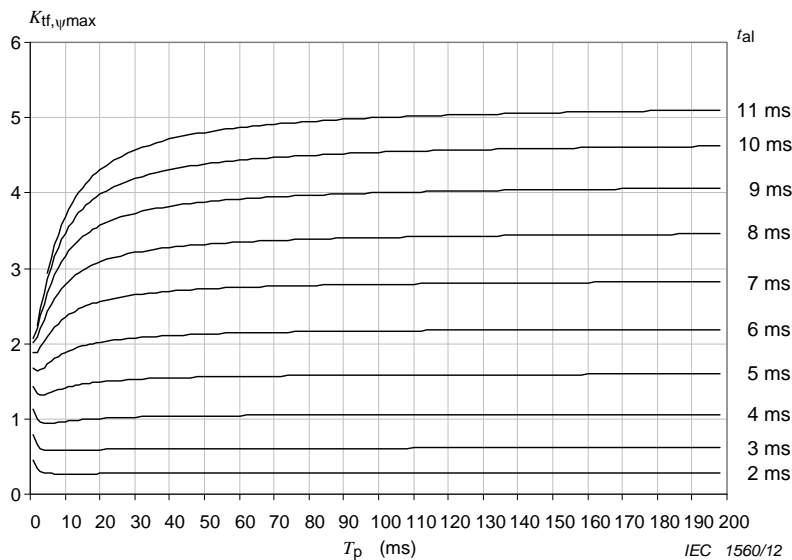
Dans cette plage de temps, $K_{tf,\psi_{\max}}$ considère l'angle de commutation dans le cas le plus défavorable $\theta(t'_{al})$, ce qui conduit au flux le plus élevé au temps limite de précision t'_{al} . Les Figures numérotées Figure 2B.4 à Figure 2B.6 représentent les courbes pour différents temps t_{al} en fonction de la constante de temps du primaire T_p . Une constante de temps secondaire T_s a été choisie assez grande pour le calcul. Des valeurs inférieures de T_s donnent des valeurs K_{tf} légèrement inférieures.

NOTE Une plus grande diversité de courbes est donnée dans le Rapport Technique CEI 61869-100 TR.

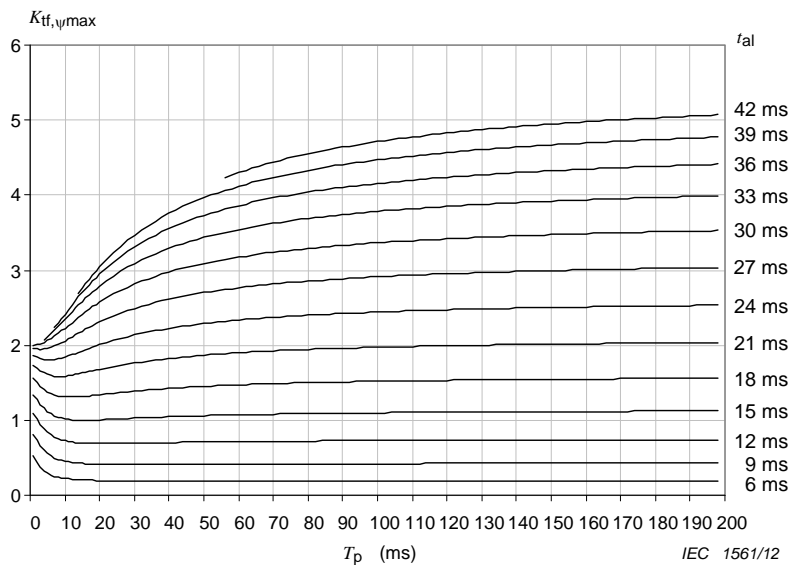
**Figure 2B.4 –
Détermination de K_{tf}
pour la plage 1
à 50 Hz
et $T_s = 1,8$ s**



**Figure 2B.5 –
Détermination de K_{tf}
pour la plage 1
à 60 Hz
et $T_s = 1,5$ s**



**Figure 2B.6 –
Détermination de K_{tf}
pour la plage 1
à 16,7 Hz
et $T_s = 5,5$ s**



Plage 2: $t_{\text{tfp,max}} \leq t_{\text{al}} < t_{\text{tfp,max}}$

La deuxième plage de temps se poursuit avec la courbe enveloppe K_{tfp} pour $\gamma = 90^\circ$ qui conduit au flux de crête le plus élevé, soit $\theta = 90^\circ - \varphi$.

$$K_{\text{tfp}} = \frac{\omega T_{\text{S}} T_{\text{P}}}{T_{\text{P}} - T_{\text{S}}} \cos(\theta) \left(e^{-t_{\text{al}}/T_{\text{P}}} - e^{-t_{\text{al}}/T_{\text{S}}} \right) + \sin(\theta) e^{-t_{\text{al}}/T_{\text{S}}} + 1 \quad (2\text{B.6})$$

jusqu'au maximum de la courbe au temps:

$$t_{\text{tfp,max}} = \frac{T_{\text{P}} T_{\text{S}}}{T_{\text{P}} - T_{\text{S}}} \ln \frac{\frac{T_{\text{P}}}{T_{\text{S}}} \cos(\theta) + \frac{T_{\text{S}} - T_{\text{P}}}{\omega T_{\text{S}}^2} \sin(\theta)}{\cos(\theta)} \quad (2\text{B.7})$$

Plage 3: $t_{\text{tfp,max}} \leq t_{\text{al}}$

La troisième plage de temps se poursuit avec le maximum constant $K_{\text{tfp,max}}$, donné à l'équation (2B.8) pour les temps limites de précision plus grands. $K_{\text{tfp,max}}$ est défini comme maximum de la courbe K_{tfp} .

$$K_{\text{tfp,max}} = \left(\omega T_{\text{P}} \cos(\theta) + \frac{T_{\text{P}} + T_{\text{S}}}{T_{\text{S}}} \sin(\theta) \right) \times \left[\frac{\frac{T_{\text{P}}}{T_{\text{S}}} \cos(\theta) + \frac{T_{\text{S}} - T_{\text{P}}}{\omega T_{\text{S}}^2} \sin(\theta)}{\cos(\theta)} \right]^{\frac{T_{\text{P}}}{T_{\text{S}} - T_{\text{P}}}} + 1 \quad (2\text{B.8})$$

2B.1.3 Cycles de fonctionnement C-O-C-O

Le dimensionnement pour le régime transitoire destiné aux cycles de fonctionnement à réarmement automatique doit être effectué séparément pour chaque cycle, selon les équations données ci-dessus.

Pour les noyaux ayant une constante de temps assignée de la boucle secondaire élevée (typiquement classe TPX), il n'y a presque pas de diminution du flux après t' :

$$K_{\text{td,(C-O-C-O)}} = K_{\text{td}}(t') + K_{\text{td}}(t_{\text{al}}) \quad (2\text{B.9})$$

Pour les circuits ayant une petite constante de temps assignée de la boucle secondaire (typiquement classes TPY et TPZ), le flux diminue de manière exponentielle avec la constante de temps du secondaire T_s pendant le temps de répétition de défaut t_{fr} . Dans ce cas, il n'existe pas de formule analytique pour le temps t pendant le premier défaut, et il faut considérer de différentes situations:

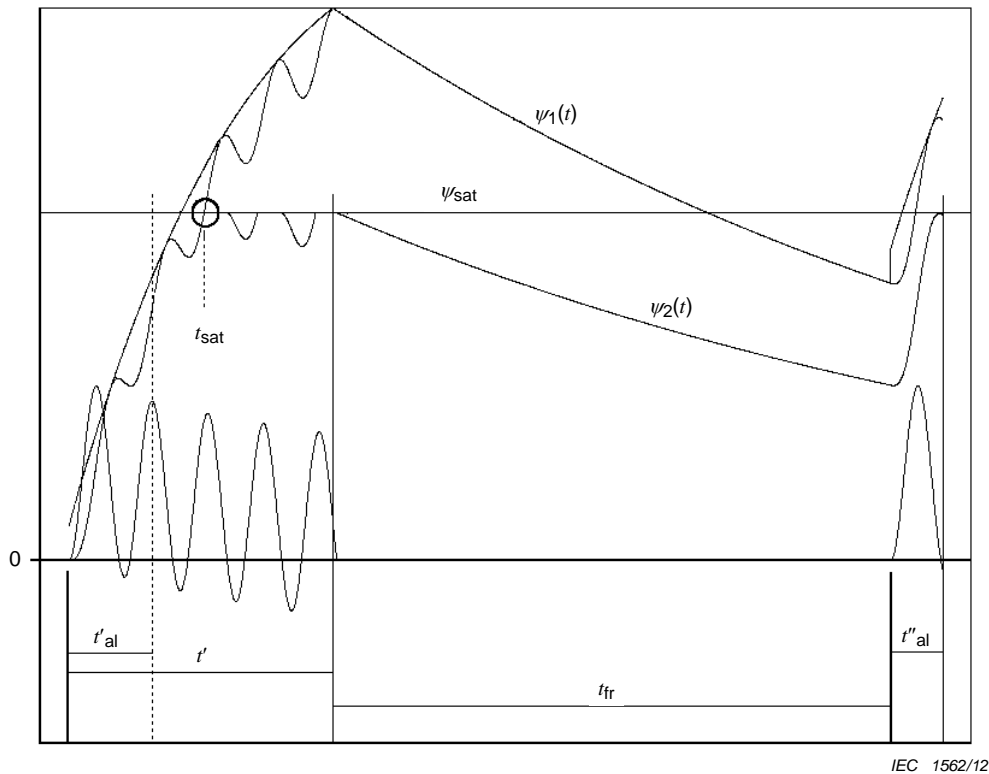


Figure 2B.7 – Limitation du flux magnétique considérant la saturation du noyau

Figure 2B.7 représente une situation typique où la saturation est atteinte après t'_{al} . Le flux ($\psi_2(t)$) est limité au niveau de saturation (ψ_{sat}) avant que t' ne soit atteint. Pendant t_{fr} , le flux décroît à une valeur qui est assez faible pour rester en-dessous de la saturation jusqu'à t''_{al} . Si la saturation est ignorée, (voir courbe $\psi_1(t)$), le flux recommence à augmenter à partir d'un niveau supérieur au début du second défaut. Cet exemple montre l'interdépendance de dimensionnement des noyaux entre le premier et le second défaut, et la détermination de K_{td} .

NOTE 1 La formule pour les cycles de fonctionnement C-O-C-O qui était donnée dans l'ancienne norme IEC 60044-6 ignore le phénomène de saturation pendant le temps du premier défaut. En conséquence, une valeur K_{td} , trop élevée est obtenue dans beaucoup de situations.

Pour cette raison, il convient de tracer un graphe par analogie avec Figure 2B.7, afin de se rendre compte de la situation réelle. L'équation suivante donne une limite supérieure pour K_{td} :

$$K_{td,(C-O-C-O)_{max}} = \max \left\{ K_{td}(t'_{al}), K_{td}(t')e^{-(t_{fr}+t''_{al})/T_s} + K_{td}(t''_{al}) \right\} \quad (2B.10)$$

NOTE 2 Dans le Rapport Technique CEI 61869-100 TR, des méthodes de calcul sont données pour la détermination de K_{td} .

2B.2 Détermination de la caractéristique de magnétisation du circuit magnétique

2B.2.1 Généralités

La mesure de la caractéristique de magnétisation du circuit magnétique implique

- La mesure de l'inductance de magnétisation L_m ;
- La mesure du Facteur de rémanence K_R ;
- La détermination de l'erreur aux conditions limites, utilisant une méthode indirecte.

Toutes ces déterminations sont fondées sur l'équation suivante. Si une tension arbitraire $u(t)$ est appliquée aux bornes secondaires (voir Figure 2B.8), le flux du circuit magnétique $\psi(t)$ embrassé par l'enroulement secondaire au temps t est fonction de cette tension, selon l'équation:

$$\psi(t) = \int_0^t (u(t) - R_{ct} \times i_m(t)) dt \quad (2B.11)$$

où i_m est la valeur instantanée du courant de magnétisation.

NOTE Comme le terme «courant d'excitation» est réservé pour la valeur efficace d'un courant alternatif (voir 3.3.207), i_m et le terme «courant de magnétisation» sont utilisés pour les valeurs instantanées des méthodes en courant continu et de décharge d'un condensateur.

Les méthodes décrites dans les articles suivants sont basées sur cette relation.

L'influence de la chute de tension dans la résistance de l'enroulement secondaire doit être estimée. Si elle dépasse 2 %, cette chute doit être déduite de la tension mesurée.

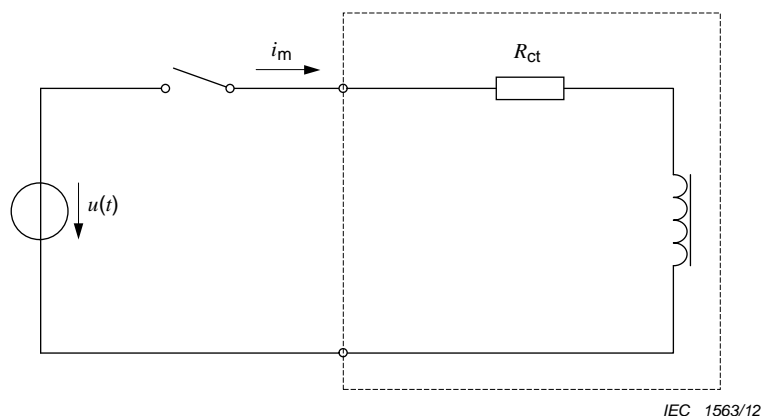


Figure 2B.8 – Circuit de base

Pour les transformateurs de courant de classe TPX, il est nécessaire de démagnétiser le circuit magnétique avant chaque essai en raison de la valeur élevée du facteur de rémanence. Pour les transformateurs de courant de classe TPY, le flux rémanent est souvent si faible qu'il peut être négligé. La démagnétisation exige des moyens supplémentaires grâce auxquels on peut imposer au circuit magnétique, à partir de l'état de saturation, des cycles d'hystérésis dont l'amplitude décroît lentement. Une source de courant continu est normalement prévue lorsque la méthode d'essai en courant continu doit être utilisée.

On peut appliquer la méthode en courant alternatif, la méthode en courant continu ou la méthode par décharge d'un condensateur.

2B.2.2 Méthode en courant alternatif

2B.2.2.1 Détermination de l'inductance de magnétisation L_m

Une tension alternative pratiquement sinusoïdale $u(t)$ est appliquée aux bornes secondaires, et la valeur correspondante du courant d'excitation est mesurée. L'essai peut être effectué à une fréquence réduite f' pour éviter une contrainte de tension inacceptable sur l'enroulement et sur les bornes secondaires. Aux fréquences basses, les effets des pertes parasites par courants de Foucault dans le circuit magnétique et des courants capacitifs entre les couches de l'enroulement sont moins susceptibles de perturber les mesures. Le résultat doit être visualisé comme courbe de saturation.

La tension d'excitation doit être mesurée avec un appareil qui donne une réponse proportionnelle à la valeur moyenne du signal redressé, mais est gradué en valeur efficace. Le courant d'excitation doit être mesuré à l'aide d'un appareil de mesure de valeur crête.

On obtient la valeur crête du flux embrassé par l'enroulement secondaire ψ selon

$$\hat{\psi} = \frac{\sqrt{2} U}{2\pi f'}$$

où U est la valeur efficace mesurée de la tension appliquée à la fréquence f' .

En conséquence, la tension de saturation U_{sat} correspond avec le flux de saturation ψ_{sat} selon

$$\hat{\psi}_{\text{sat}} = \frac{\sqrt{2} U_{\text{sat}}}{2\pi f'}$$

NOTE 201 U_{sat} doit être estimée égale à la tension où la courbe est pratiquement horizontale. L'influence de l'incertitude dans la détermination de U_{sat} est pratiquement négligeable pour la détermination de L_m .

Considérant cette équation, la courbe donne la relation entre la valeur crête du courant d'excitation et la valeur crête du flux ψ embrassé par l'enroulement secondaire. L'inductance de magnétisation L_m est définie par la pente moyenne de la courbe entre 20 % et 70 % du flux de saturation ψ_{sat} . Elle est calculée suivant:

$$L_m = \frac{0,5 \times U_{\text{sat}} \times \sqrt{2}}{(\hat{i}_{70} - \hat{i}_{20}) \times 2\pi f'}$$

où \hat{i}_{20} est la valeur crête du courant d'excitation à 20 % U_{sat} ;

\hat{i}_{70} est la valeur crête du courant d'excitation à 70 % U_{sat} .

NOTE 202 Cette formule diffère légèrement de la formule donnée dans l'ancienne norme IEC 60044-6 à cause de la définition améliorée de la saturation.

2B.2.2.2 Détermination de l'erreur aux conditions limites

L'arrangement d'essai selon 2B.2.2.1 doit être utilisé.

La tension doit être augmentée jusqu'à une tension égale à E_{al} selon

$$E_{al} = K_{ssc} \times K_{td} \times (R_{ct} + R_b) \times I_{sr}$$

La valeur de crête du courant secondaire d'excitation (\hat{I}_{al}) ne doit pas dépasser la valeur donnée ci-dessous:

Pour les classes TPX et TPY: $\hat{I}_{al} \leq \sqrt{2} \times I_{sr} \times K_{ssc} \times \hat{\varepsilon}$

Pour la classe TPZ:
$$\hat{I}_{al} \leq \sqrt{2} \times I_{sr} \times K_{ssc} \times \left(\frac{K_{td} - 1}{2\pi f_R \times T_S} + \hat{\varepsilon}_{ac} \right)$$

NOTE Pour les transformateurs de courant de classe TPZ, la précision n'est spécifiée que pour la composante alternative; toutefois, lors de la détermination de la valeur admissible de I_{al} pendant les essais indirects, il est également nécessaire de tenir compte de la composante continue du courant d'excitation. Dans l'équation ci-dessus, la composante continue est représentée par $(K_{td} - 1)$.

2B.2.2.3 Détermination du facteur de rémanence K_R

A la différence de ce qui est décrit dans 2B.2.2.1 et 2B.2.2.2, les formes d'onde doivent être enregistrées.

Lorsque l'on détermine le facteur de rémanence K_R par la méthode d'essai en courant alternatif, il est nécessaire d'intégrer la tension d'excitation selon l'équation (1) donnée en 2B.2.1. La tension intégrée associée au courant correspondant i_m affiche une courbe d'hystérésis, représentant le flux de saturation ψ_{sat} . On considère que la valeur du flux au passage par zéro du courant représente le flux rémanent ψ_r . Voir la Figure 2B.9. Le facteur de rémanence K_R est alors calculé comme suit:

$$K_R = \frac{\psi_r}{\psi_{sat}} \quad (2B.12)$$

Aux fréquences basses, les effets des pertes parasites par courants de Foucault dans le circuit magnétique et des courants capacitifs entre les couches de l'enroulement sont moins susceptibles de perturber les mesures.

NOTE ψ_{sat} doit être estimé comme flux embrassé par l'enroulement secondaire au niveau où la courbe est pratiquement horizontale.

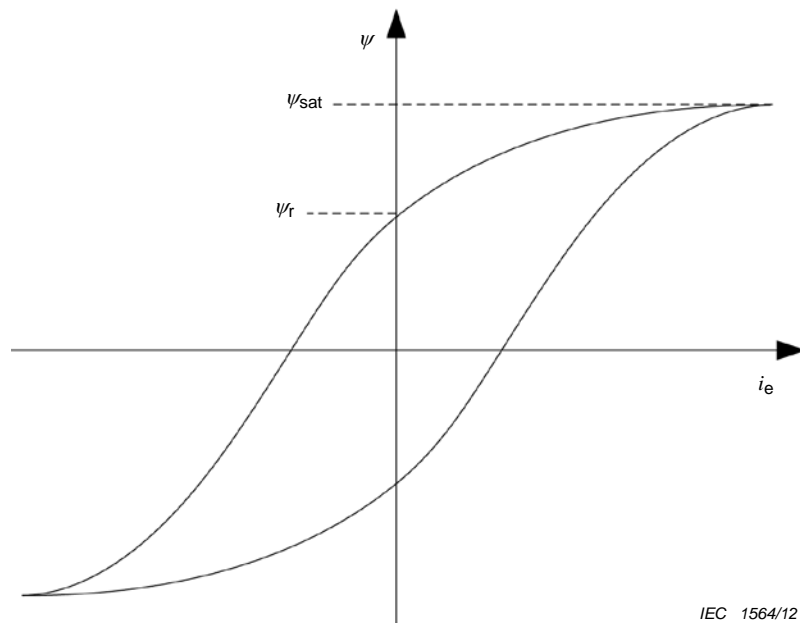


Figure 2B.9 – Détermination du facteur de rémanence par cycle d'hystérésis

2B.2.3 Méthode en courant continu

2B.2.3.1 Généralités

La méthode de la saturation en courant continu consiste à appliquer une tension continue $u(t)$ pendant une durée telle que la valeur de flux de saturation soit atteinte. La mesure du flux est déterminée selon l'équation (2B.11) donnée en 2B.2.1, où $u(t)$ est la tension entre les bornes. Voir la Figure 2B.10.

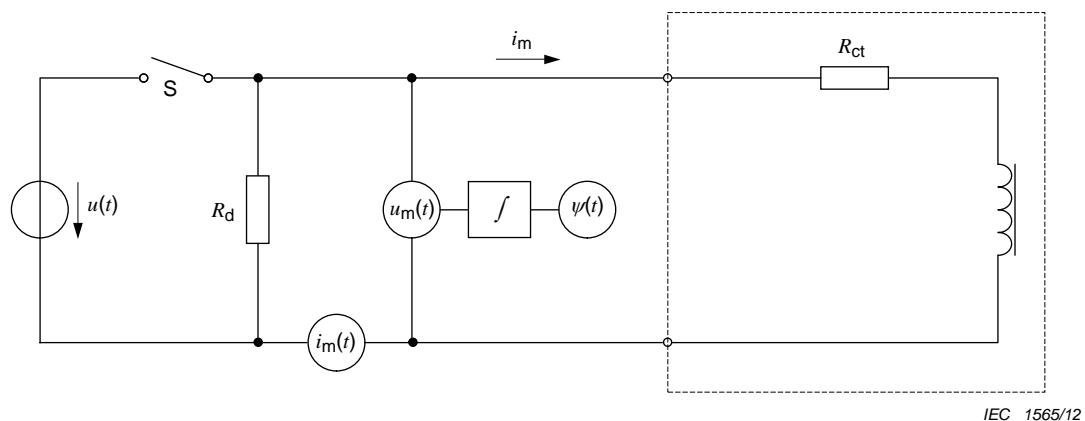


Figure 2B.10 – Circuit pour la méthode en courant continu

La source de tension appliquée doit être appropriée pour amener le transformateur de courant à la saturation.

La résistance de décharge R_d doit être connectée, sinon l'inductance du circuit magnétique peut provoquer des surtensions très élevées à l'ouverture de l'interrupteur S, lorsque le courant inductif est interrompu.

2B.2.3.2 Détermination du facteur de rémanence K_R

Le circuit d'essai selon 2B.2.3.1 doit être utilisé.

Quelque temps après la fermeture de l'interrupteur S, le courant d'excitation est considéré comme ayant atteint sa valeur maximale i_m pour laquelle le flux dans le circuit magnétique demeure constant. Avant d'atteindre la valeur constante, la courbe i_m doit montrer une augmentation significative de sa pente, indiquant la saturation. La source de tension appliquée doit être appropriée pour amener le transformateur de courant à la saturation sans influencer les résultats d'essai à cause de ses limites. Cette condition est accomplie si le flux embrassé par l'enroulement secondaire atteint une valeur stabilisée avant le courant de magnétisation.

Les valeurs croissantes du courant de magnétisation et du flux doivent être enregistrées jusqu'au moment où ces valeurs deviennent constantes, puis l'interrupteur S est ouvert.

Des enregistrements d'essai typiques du flux $\psi(t)$ et du courant de magnétisation $i_e(t)$ sont représentés à la Figure 2B.11.

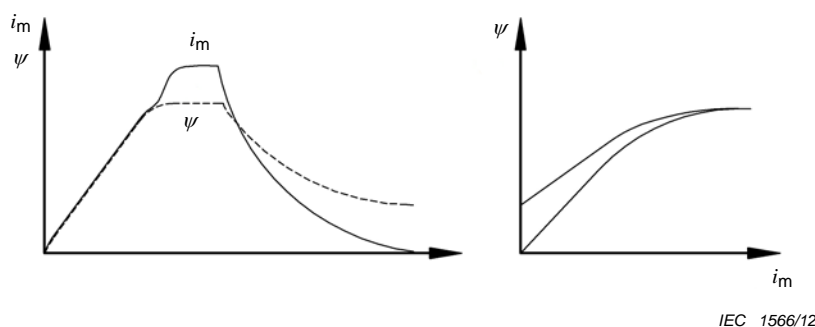


Figure 2B.11 – Diagrammes temps-amplitude et flux-courant

A l'ouverture de l'interrupteur S, un courant de décroissant traverse l'enroulement secondaire et la résistance de décharge R_d . La valeur du flux correspondant décroît, mais peut ne pas devenir nulle lorsque le courant s'annule. Si l'on a convenablement choisi un courant de magnétisation i_m pour parvenir au flux de saturation ψ_{sat} , une fois que le courant s'est annulé, la valeur de flux subsistant doit être considérée comme étant égale au flux rémanent ψ_r .

Pour les transformateurs de courant dont le circuit magnétique n'a pas été démagnétisé au préalable, le facteur de rémanence (K_R) peut être déterminé par le biais d'un essai complémentaire pour lequel les bornes secondaires ont été permutées. La courbe du flux embrassé par l'enroulement secondaire contient un déplacement de la moitié du flux de rémanence mesuré apparemment. Pour cette raison, la ligne de zéro doit être déplacée conformément, et les valeurs du flux de saturation et du flux de rémanence doivent être adaptées. Voir Figure 2B.12.

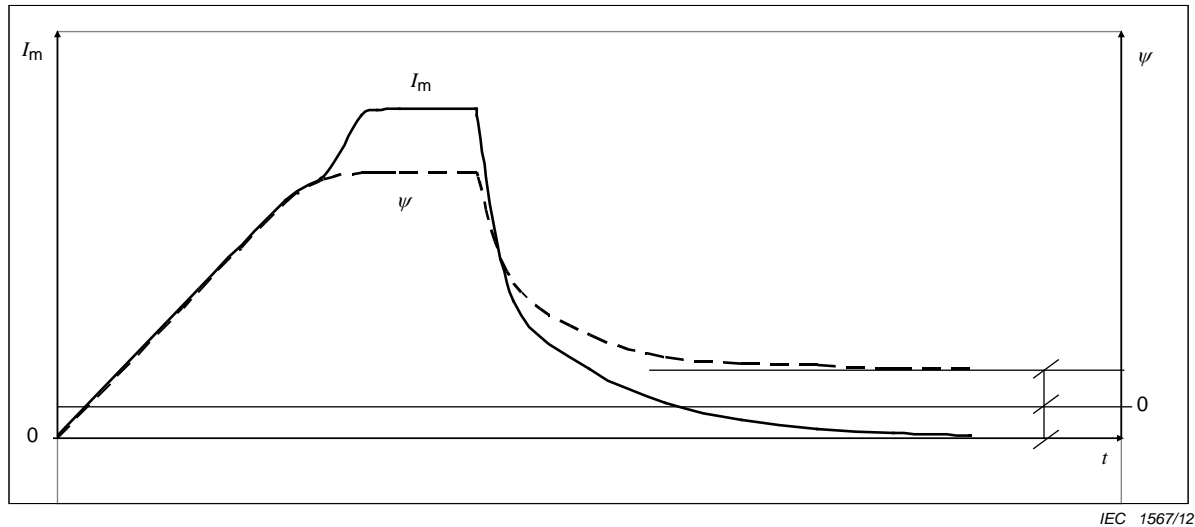


Figure 2B.12 – Diagramme avec la ligne de zéro déplacée

Le facteur de rémanence K_R est calculé selon

$$K_R = \frac{\psi_r}{\psi_{sat}} \quad (2B.13)$$

2B.2.3.3 Détermination de l'inductance de magnétisation

Le circuit d'essai selon 2B.2.3.2 doit être utilisé.

L'inductance de magnétisation (L_m) peut être déduite selon l'équation suivante:

$$L_m = \frac{0,5 \times \psi_{sat}}{i_{70} - i_{20}} \quad (2B.14)$$

où

i_{20} est la valeur de crête du courant de magnétisation à 20% ψ_{sat} ;

i_{70} est la valeur de crête du courant de magnétisation à 70% ψ_{sat} .

NOTE Cette formule diffère légèrement de la formule donnée dans l'ancienne norme IEC 60044-6 à cause de la définition améliorée de la saturation.

2B.2.3.4 Détermination de l'erreur aux conditions limites

Le circuit d'essai selon 2B.2.3.1 doit être utilisé.

Pour la détermination de l'erreur aux conditions limites, le courant magnétisant i_m correspondant au flux ψ_{al} embrassé par le secondaire doit être mesuré pendant l'accroissement du flux.

ψ_{al} est le flux embrassé au secondaire correspondant à E_{al} et est donné comme

$$\psi_{al} = \frac{\sqrt{2} \times E_{al}}{2\pi f_R} = \frac{\sqrt{2} \times K_{td} \times K_{ssc} \times I_{sr} \times (R_b + R_{ct})}{2\pi f_R}$$

Le courant de magnétisation i_m ne doit pas dépasser les limites suivantes:

Pour classes TPX and TPY: $i_m \leq \sqrt{2} \times I_{sr} \times K_{ssc} \times \hat{\varepsilon}$

Pour classe TPZ: $i_m \leq \sqrt{2} \times I_{sr} \times K_{ssc} \times \left(\frac{K_{td} - 1}{2\pi f_R \times T_S} + \hat{\varepsilon}_{ac} \right)$

NOTE Pour les transformateurs de courant de classe TPZ, la précision n'est spécifiée que pour la composante alternative; toutefois, lors de la détermination de la valeur admissible de I_{al} pendant les essais indirects, il est également nécessaire de tenir compte de la composante continue du courant d'excitation. Dans l'équation ci-dessus, la composante continue est représentée par $(K_{td} - 1)$.

2B.2.4 Méthode par décharge d'un condensateur

La méthode par décharge d'un condensateur utilise la charge d'un condensateur pour exciter le circuit magnétique du transformateur de courant depuis le secondaire. La mesure du flux est obtenue à partir de l'équation 1 donnée en 2B.2.1 où $u(t)$ est la tension sur les bornes. Voir Figure 2B.13.

Le condensateur est chargé avec une tension suffisamment élevée pour produire un flux de saturation embrassé par l'enroulement secondaire ψ_{al} correspondant à E_{al} . Voir les Figures 2B.13 et 2B.14.

$$\psi_{al} = \frac{\sqrt{2} \times E_{al}}{2\pi f_R}$$

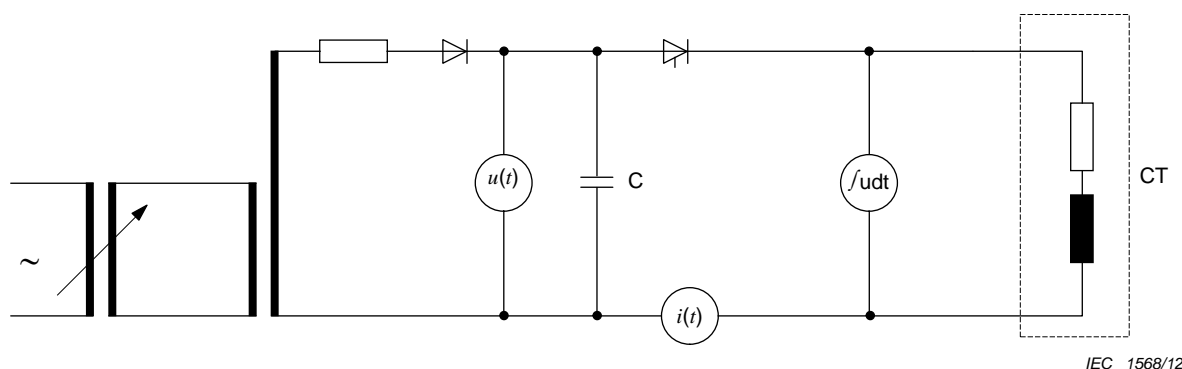


Figure 2B.13 – Circuit utilisé dans la méthode par décharge d'un condensateur

Au moment où ψ_{al} est atteint, la valeur de crête du courant de magnétisation secondaire i_m doit être mesurée, et ne doit pas dépasser la valeur de crête du courant d'excitation secondaire \hat{I}_{al} .

La constante de temps assignée de la boucle secondaire T_s doit être déterminée en appliquant aux bornes secondaires du transformateur de courant, une tension afin que l'intégrale tension-temps atteigne une valeur égale à celle qui correspond à 90% de ψ_{al} . Le courant de magnétisation i'_m est mesuré et la constante de temps est calculée comme suit:

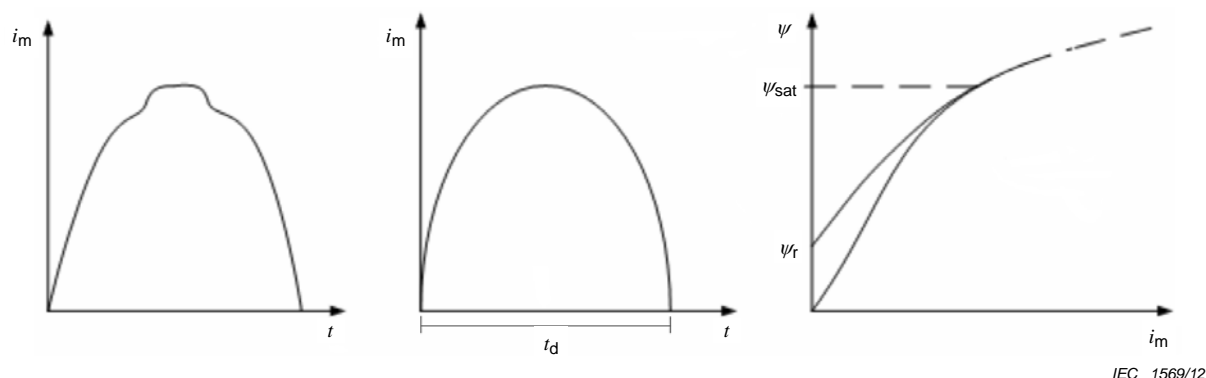
$$T_s = \frac{\sqrt{2} \times 0,9 \times E_{al}}{2\pi f_R \times (R_{ct} + R_b) \times i'_m}$$

NOTE Cette définition n'est pas conforme aux définitions précédentes des méthodes en courant continu et en courant alternatif.

En déterminant le facteur de rémanence K_R , la tension intégrée détermine un cycle d'hystérésis avec le courant correspondant. Si le courant de magnétisation est tel que saturation est atteinte, la valeur de flux correspondant au passage par zéro du courant est considérée comme ψ_r .

Le facteur de rémanence est déterminé:

$$K_R = \frac{\psi_r}{\psi_{sat}}$$



IEC 1569/12

Figure 2B.14 – Enregistrements types de la méthode par décharge d'un condensateur

2B.3 Détermination de l'erreur aux conditions limites des transformateurs de courant pour protection pour réponse en régime transitoire

2B.3.1 Généralités

Le courant d'erreur instantané peut être mesuré de différentes manières. Dans tous les cas, les erreurs du système de mesure ne doivent pas dépasser 10 % de la limite d'erreur correspondant à la classe du transformateur de courant soumis à l'essai pendant la totalité du cycle de fonctionnement.

2B.3.2 Essai direct

Il est nécessaire de démagnétiser les transformateurs de courant de classe TPX avant l'essai direct en raison de la valeur élevée du facteur de rémanence. Il peut être nécessaire de démagnétiser les transformateurs de courant de classe TPY si le facteur de rémanence K_R n'est pas négligeable.

Deux essais directs doivent être effectués à la fréquence assignée, avec la charge secondaire assignée:

- a) Le courant primaire de court-circuit assigné, à la fréquence assignée, est appliqué sans décalage. On mesure la composante alternative de l'erreur instantanée. Elle doit être conforme à la valeur théorique de $1/\omega T_s$.
- b) Pour vérifier les exigences d'erreur du cycle de fonctionnement, l'essai suivant sera réalisé:
Le courant primaire de court-circuit assigné, à la fréquence assignée, est appliqué avec le décalage requis. Pour les valeurs spécifiées de la constante de temps du primaire allant jusqu'à 80 ms, l'essai est effectué à la condition limite de précision spécifiée (cycle de fonctionnement spécifié). La constante de temps du primaire ne doit pas différer de plus de 10 % de la valeur spécifiée.

Pour les valeurs spécifiées de la constante de temps du primaire supérieures à 80 ms, les essais peuvent être effectués à des conditions limites de précision équivalentes (en modifiant le cycle de fonctionnement et/ou la charge), sous réserve d'accord entre le constructeur et l'acheteur.

Pendant la période d'excitation, la première crête du courant primaire ne doit pas être inférieure à la valeur correspondant aux conditions spécifiées.

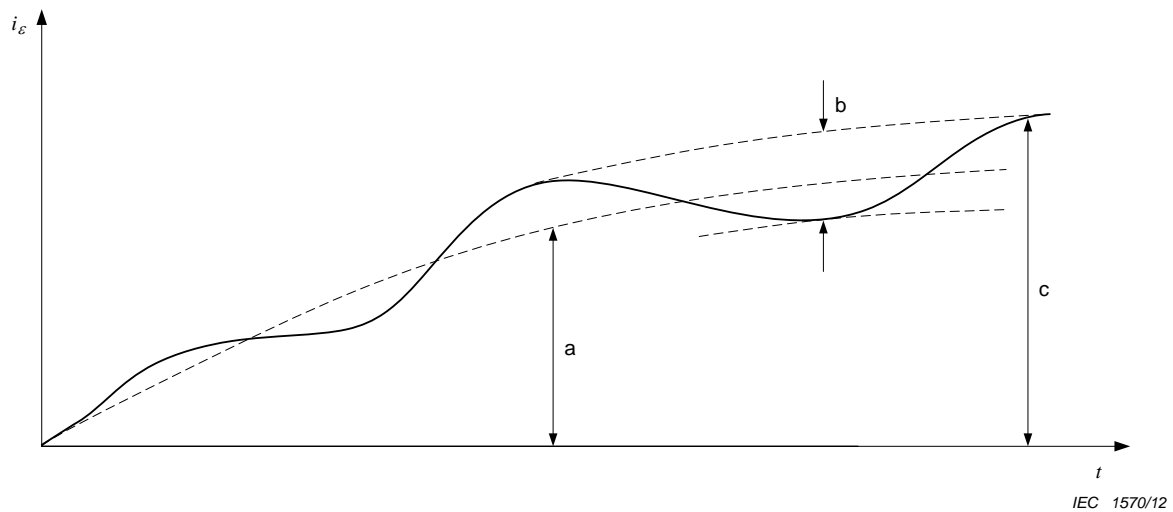
En pratique, au laboratoire il peut être difficile de reproduire le cycle de fonctionnement exact. Dans ce cas, la valeur calculée de K_{td} du cycle de fonctionnement appliqué ne doit pas être inférieure à la valeur K_{td} du cycle de fonctionnement spécifié. Pour répondre à cette exigence il est permis d'ajuster la durée du cycle et/ou la charge secondaire.

NOTE Puisque le calcul de K_{td} se rapporte aux formules aux conditions les plus défavorables (la formule 6 dans 2B.1.2 peut délivrer des valeurs K_{td} qui son 30 % plus élevées que nécessaire), le transformateur de courant peut répondre aux exigences du cycle de fonctionnement sans atteindre le flux correspondant à la valeur calculée de K_{td} .

Pour les transformateurs de courant de classes TPX et TPY, le courant d'erreur instantané i_ε est mesuré: $i_\varepsilon = i_s \times k_r - i_p$. La valeur de l'erreur $\hat{\varepsilon}$ doit être déterminée selon le paragraphe 3.4.222. Sa valeur ne doit pas dépasser la limite indiquée dans le Tableau 206.

Pour les transformateurs de courant de la classe TPZ, on mesure la composante alternative du courant d'erreur en prenant la moitié de la valeur crête à crête (voir Figure 2B.15). La valeur de l'erreur $\hat{\varepsilon}_{ac}$ doit être déterminée selon le paragraphe 3.4.223. Sa valeur ne doit pas dépasser la limite indiquée dans le Tableau 206.

NOTE Il est possible que la définition de classe ne contienne pas de cycle de fonctionnement. Dans ce cas, pour les essais, un cycle de fonctionnement conduisant à la valeur K_{td} donnée doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.



où:

$$a = \hat{i}_{edc}$$

$$b = 2\hat{i}_{eac}$$

$$c = \hat{i}_{eac} + \hat{i}_{edc}$$

pour TPY: $\hat{i}_e = c$

$$\text{pour TPZ: } \hat{i}_e = \hat{i}_{eac} = \frac{b}{2}$$

Figure 2B.15 – Mesure des courants d'erreur

Si la valeur réelle de K_{td} doit être déterminée, la durée de l'excitation et/ou la charge secondaire doit être augmentée, afin que le courant d'erreur instantané mesuré atteigne la limite de la classe concernée (Tableau 206). Pour la classe TPZ, l'interpolation linéaire est utilisée pour déterminer l'instant où la composante alternative atteint la limite.

Le flux embrassé par l'enroulement secondaire ψ_{dir} doit être déterminé comme suit:

$$\psi(t) = \frac{R_{ct} + R_b}{R_b} \times \int_0^t R_b \times i_s(t) dt$$

où

t est l'instant où la limite d'erreur $\hat{\varepsilon}$ ou $\hat{\varepsilon}_{ac}$ est atteinte.

Le facteur de dimensionnement K_{td} du transformateur de courant est le rapport ψ_{dir} à la valeur crête de la composante alternative de ψ en régime permanent. La composante alternative peut être obtenue à partir des mesures du flux embrassé par l'enroulement secondaire dans l'essai a), qui doit être mise en relation avec la valeur exacte (théorique) du courant de court-circuit $K_{ssc} \times I_{sr}$. La mesure doit être réalisée avec la formule ci-dessus.

L'erreur de mesure du flux ne doit pas dépasser 5 %.

2B.3.3 Détermination du facteur de construction

Si la conformité avec les exigences d'une conception à faible réactance de fuite ne peut pas être établie à la satisfaction mutuelle du constructeur et de l'acheteur par le biais des dessins, le facteur de construction F_c doit être déterminé comme suit:

Les valeurs de flux embrassé par l'enroulement secondaire doivent être déterminées en essais direct et indirect, à la condition de la limite de précision dans les deux cas. Si une classe pour réponse en régime transitoire est spécifiée avec la définition alternative, un cycle de fonctionnement et une charge doivent être choisis afin d'atteindre la valeur spécifiée de $K_{ssc} \times K_{td}$.

Le flux embrassé par l'enroulement secondaire ψ_{dir} , qui est obtenu dans l'essai direct selon 2B.3.2 doit être déterminé.

Dans l'essai indirect, le flux embrassé par l'enroulement secondaire $\hat{\psi}_{ind}$ doit être déterminé avec une des méthodes suivantes:

méthode en courant alternatif:

L'arrangement d'essai selon 2B.2.2.1 doit être utilisé.

La tension doit être augmentée jusqu'à ce que la limite correspondante du courant d'excitation \hat{I}_{al} (selon 2B.2.2.2) soit atteinte. La tension obtenue soit notée. Le flux embrassé par l'enroulement secondaire $\hat{\psi}_{ind}$ est donné par:

$$\hat{\psi}_{ind} = \frac{\sqrt{2} \times U}{2\pi f}$$

où f est la fréquence appliquée.

méthode en courant continu ou par décharge d'un condensateur

Le circuit d'essai selon 2B.2.3.1 (méthode en courant continu) ou 2B.2.4 (méthode par décharge d'un condensateur) doit être utilisé.

Le flux $\hat{\psi}_{ind}$ est le flux embrassé par l'enroulement secondaire qui correspond à la limite du courant de magnétisation selon 2B.2.3.4

F_c peut alors être calculé par

$$F_c = \frac{\hat{\psi}_{ind}}{\hat{\psi}_{dir}}$$

L'erreur de mesure du flux ne doit pas dépasser 5 %.

Si F_c est supérieur à 1,1, le facteur doit être considéré lors du dimensionnement du noyau.

NOTE La valeur du courant primaire nécessaire pour effectuer des essais directs d'erreur composée sur certains types de transformateurs peut dépasser la capacité des installations normalement fournies par les constructeurs. Des essais à des niveaux de courant primaire inférieurs peuvent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

Annexe 2C (normative)

Preuve de type à faible réactance de fuite

On doit montrer que:

- le transformateur de courant possède un circuit magnétique présentant pratiquement la forme d'un tore, avec, le cas échéant, des entrefers uniformément répartis;
- le transformateur de courant possède un enroulement secondaire uniformément réparti;
- le transformateur de courant possède un conducteur primaire symétrique par rapport à la rotation;
- L'influence des conducteurs de la phase adjacente, à l'extérieur de l'enveloppe du transformateur de courant, et des phases voisines est négligeable.

Si la conformité avec les exigences d'une conception à faible réactance de fuite ne peut pas être établie à la satisfaction mutuelle du constructeur et de l'acheteur par le biais des dessins, les résultats d'un essai direct et d'un essai indirect doivent être comparés comme suit:

Pour les transformateurs de courant des classes TPX, TPY et TPZ le facteur de construction F_c doit être déterminé selon 2B.3.3. Si F_c est inférieure à 1,1, le transformateur de courant est considéré comme type à faible réactance de fuite.

Pour toutes les autres classes de protection, l'erreur composée de l'enroulement compète doit être déterminé par un essai direct et un essai indirect, et les deux résultats sont comparés.

Pour l'essai direct, l'un ou l'autre méthode selon 2A.5 ou 2A.6 peuvent être appliquées. Le courant d'essai est donné comme suit:

$ALF \times I_{pr}$ pour classe P et classe PR;
 $K_x \times I_{pr}$ pour classe PX et classe PXR.

Pour l'essai indirect, la méthode selon 7.2.6.203 b) doit être appliquée. La tension appliquée aux bornes secondaires est donnée comme suit:

E_{ALF} pour classe P et classe PR;
 E_k pour classe PX et classe PXR.

Si l'erreur composée de l'essai direct est inférieure à 1,1 fois l'erreur composée de l'essai indirect, le transformateur de courant est considéré comme type à faible réactance de fuite.

NOTE Selon la définition (3.4.235), le terme "type à faible réactance de fuite" n'est pas universelle, mais apparentée à sa performance (classe de protection).

Annexe 2D (informative)

Technique utilisée dans l'essai d'échauffement des transformateurs immergés dans l'huile pour déterminer la constante thermique par estimation expérimentale

Liste des symboles:

θ	Température en °C
$\theta(t)$	Température de l'huile, variant dans le temps (il peut s'agir de la température de l'huile en tête ou de la température moyenne de l'huile)
θ_a	Température du milieu de refroidissement extérieur (air ambiant ou eau), supposée constante
$\Delta\theta$	Echauffement de l'huile au-dessus de θ_a
$\theta_u, \Delta\theta_u$	Valeurs finales en régime établi
$\varepsilon(t)$	Ecart restant par rapport à la valeur en régime établi θ_u
T_o	Constante de temps pour la variation exponentielle de l'échauffement de l'huile
h	Intervalle de temps entre les relevés
$\theta_1, \theta_2, \theta_3$	Trois relevés de température successifs séparés d'un intervalle de temps h

En principe, il convient de poursuivre l'essai jusqu'à s'assurer de l'échauffement (de l'huile) en régime établi.

$$\theta_u = \theta_a + \Delta\theta_u \quad (2D.1)$$

$$\theta(t) = \theta_a + \Delta\theta_u (1 - e^{-t/T_o}) \quad (2D.2)$$

L'écart restant par rapport au régime établi est alors:

$$\varepsilon(t) = \theta_u - \theta(t) = \Delta\theta_u \times e^{-t/T_o} \quad (2D.3)$$

On considère que:

- la température ambiante est maintenue aussi constante que possible;
- la température de l'huile $\theta(t)$ s'approche d'une valeur finale θ_u selon une fonction exponentielle avec une constante de temps T_o ;
- l'équation (2D.2) est une bonne approximation de la courbe de température (voir Figure 2C.1).

Etant donnés trois relevés successifs $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2$ et $\Delta\theta_3$, si la relation exponentielle de l'équation (2D.2) est une bonne approximation de la courbe de température, alors les incréments présentent la relation suivante:

$$\frac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2} = e^{h/T_o}$$

$$T_o = \frac{h}{\ln \frac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2}} \quad (2D.4)$$

Les relevés permettent également une prévision de l'échauffement final:

$$\Delta\theta_u = \frac{(\Delta\theta_2)^2 - \Delta\theta_1\Delta\theta_3}{2\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1 - \Delta\theta_3} \quad (2D.5)$$

Des estimations successives doivent être effectuées. Il convient que celles-ci convergent. Afin d'éviter des erreurs numériques aléatoires importantes, il convient que l'intervalle de temps h soit approximativement de T_0 et il convient que $\Delta\theta_3/\Delta\theta_u$ soit supérieur ou égal à 0,95.

Une valeur plus précise de l'échauffement en régime établi est obtenue par une méthode d'extrapolation des moindres carrés de tous les points mesurés approximativement au-dessus de 60 % de $\Delta\theta_u$ ($\Delta\theta_u$ estimé par la méthode des trois points).

Une formulation numérique différente est:

$$\Delta\theta_u = \Delta\theta_2 + \frac{\sqrt{(\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1)(\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2)}}{\ln \frac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2}} \quad (2D.6)$$

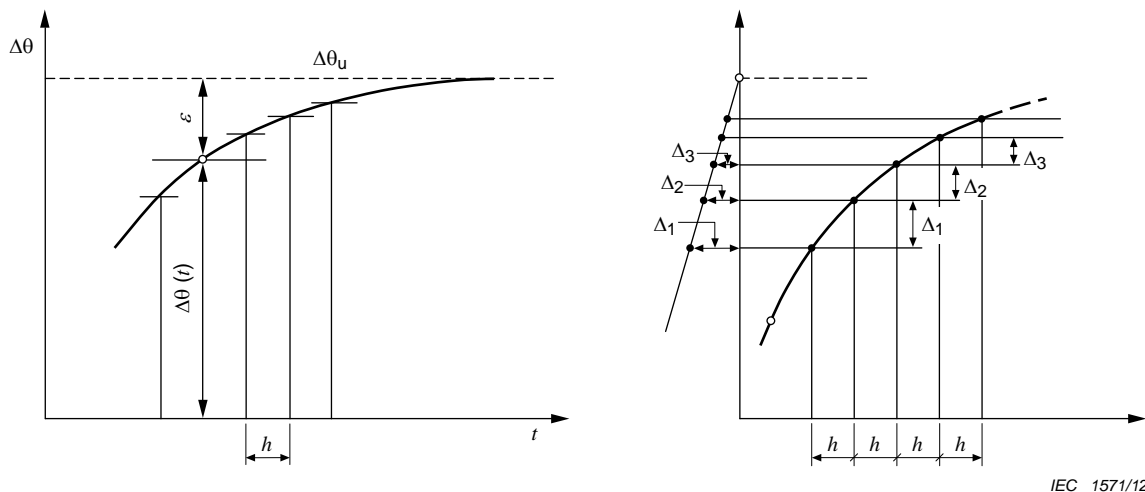


Figure 2D.1 – Extrapolation graphique de l'échauffement final

Méthode alternative pour la mesure de l'erreur de rapport (ε)

Pour la détermination de l'erreur de rapport, le schéma de circuit équivalent simplifié représenté à la Figure 2E.1 est utilisé:

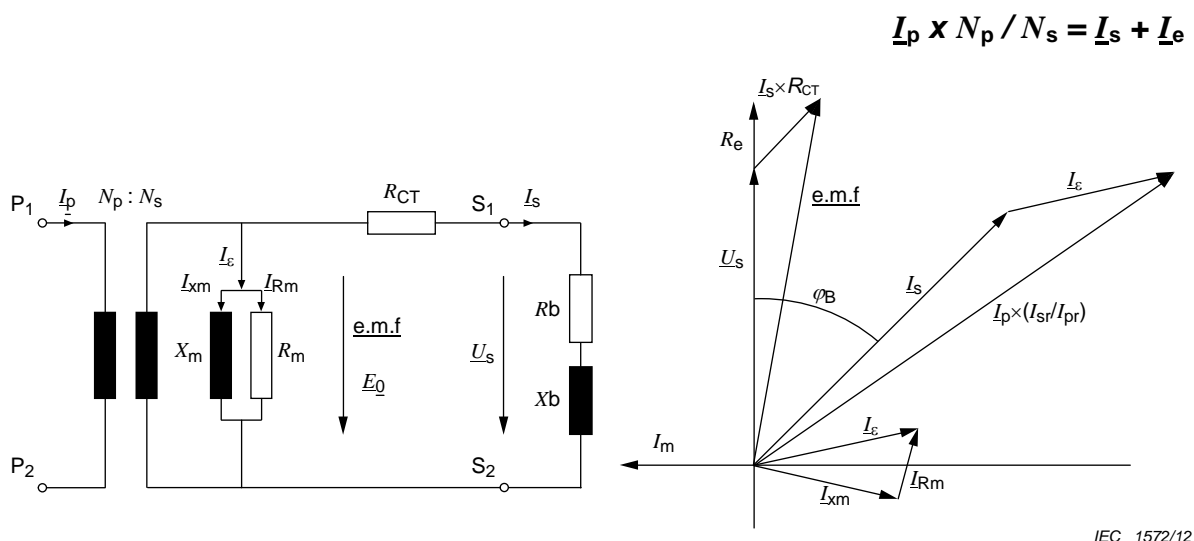


Figure 2E.1 – Circuit équivalent simplifié du transformateur de courant

Une tension pratiquement sinusoïdale est appliquée aux bornes secondaires $S_1 - S_2$ du transformateur de courant. La tension d'essai entre les bornes $\underline{U}_{S \text{ test}}$ et le courant $\underline{I}_{S \text{ test}}$ sont mesurés. Il convient que la tension injectée génère une force électromotrice aux bornes de l'inductance principale de même amplitude que pendant le fonctionnement avec un certain courant et la charge réelle. Il est possible de calculer la force électromotrice d'après les résultats d'essai en soustrayant la chute de tension aux bornes de la résistance de l'enroulement R_{CT} de la tension d'essai $\underline{U}_{S \text{ test}}$ entre les bornes $S_1 - S_2$. Cette soustraction doit être effectuée dans le plan complexe. Le courant mesuré $\underline{I}_{S \text{ test}}$ est égal au courant d'erreur $\underline{I}_\varepsilon$.

L'erreur de rapport peut être exprimée par:

$$\varepsilon = \frac{\underline{I}_s - \underline{I}_p \frac{I_{sr}}{I_{pr}}}{\underline{I}_p \frac{I_{sr}}{I_{pr}}} = \frac{\underline{I}_s I_{pr}}{\underline{I}_p I_{sr}} - 1 \quad (2E.1)$$

Avec:

$$\frac{\underline{I}_p N_p}{N_s} = \underline{I}_e + \underline{I}_s \Rightarrow \underline{I}_p = \frac{(\underline{I}_e + \underline{I}_s) N_s}{N_p} \quad (2E.2)$$

l'erreur de rapport peut être exprimée par:

$$\varepsilon = \frac{\underline{I}_s \times N_p \times I_{pr}}{(\underline{I}_e + \underline{I}_s) \times N_s \times I_{sr}} - 1 \quad (2E.3)$$

Pour la détermination de l'erreur de rapport pour un certain courant secondaire I_s , la procédure d'essai suivante est proposée:

- Calcul de la tension secondaire aux bornes de $S_1 - S_2$:

$$\underline{U}_s = \underline{I}_s \times (R_b + jX_b)$$

- Mesure de la résistance de l'enroulement secondaire R (valeur à la température réelle)
- Calcul de la force électromotrice correspondante

$$\underline{E}_0 = \underline{I}_s R + \underline{U}_s$$

- Injection de

$$\underline{U}_{s\text{Test}} = \underline{E}_0 + \underline{I}_{s\text{Test}} R \quad (\text{avec } I_{s\text{ test}} = I_s)$$

aux bornes secondaires $S_1 - S_2$

- Mesure de la tension $U_{p\text{ test}}$ aux bornes $P_1 - P_2$
- Calcul du rapport des nombres de spires

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{U_{p\text{Test}}}{|\underline{E}_0|}$$

- Calcul du courant I_p correspondant

$$\underline{I}_p = \frac{(\underline{I}_s + \underline{I}_{s\text{Test}}) N_s}{N_p}$$

L'erreur de rapport peut être calculée par:

$$\varepsilon = \frac{\underline{I}_s N_p I_{pr}}{(\underline{I}_{s\text{Test}} + \underline{I}_s) \times I_{sr}} - 1$$

Annexe 2F (normative)

Détermination du rapport des nombres de spires

Le rapport de transformation réel est affecté par des erreurs résultant de trois causes:

- a) la différence entre l'inverse du rapport des nombres de spires et le rapport de transformation assigné;
- b) le courant d'excitation du circuit magnétique (I_e);
- c) les courants qui traversent les capacités parasites associées aux enroulements.

Dans la plupart des cas, il est raisonnable de supposer que pour une valeur donnée (E_s) de la force électromotrice induite dans l'enroulement secondaire, les courants d'erreur résultant des capacités parasites et de la magnétisation du circuit conservent une valeur constante indépendante de la valeur du courant primaire d'excitation. E_s peut théoriquement être maintenu à une valeur constante pour toute une gamme de courants d'excitation, pourvu que l'impédance de la boucle secondaire puisse être réglée de façon appropriée. Pour les transformateurs de courant conçus pour être du type à faible réactance de fuite, la réactance de fuite du secondaire peut être ignorée. On ne doit donc considérer que la résistance de l'enroulement secondaire. Ainsi, pour l'un ou l'autre des deux courants I'_s et I''_s , l'équation de base définissant l'exigence de l'essai est donnée par:

$$I'_s (R + R'_b) = E_s = I''_s (R + R''_b)$$

où R est la résistance réelle de l'enroulement secondaire.

Les erreurs de rapport mesurées étant désignées par ε'_c et ε''_c , l'erreur sur le rapport des nombres de spires est indiquée par ε_t , et la combinaison du courant d'excitation et des courants parasites est donnée par I_x . Les courants d'erreur respectifs sont donnés par:

$$(\varepsilon'_c - \varepsilon_t) \times k_r I'_s = I_x = (\varepsilon''_c - \varepsilon_t) \times k_r I''_s$$

d'où:

$$\varepsilon_t = \frac{\varepsilon'_c \times I'_s - \varepsilon''_c \times I''_s}{I'_s - I''_s}$$

Si $I'_s = 2I''_s$, l'erreur sur le rapport des nombres de spires est donnée par $2\varepsilon'_c - \varepsilon''_c$.

Un essai au courant assigné avec une charge minimale connectée au secondaire, suivi par un essai à la moitié du courant assigné avec l'augmentation convenable de la résistance de la boucle secondaire, donne habituellement des résultats satisfaisants.

Annexe ZA (normative)

Références normatives à d'autres publications internationales avec les publications européennes correspondantes

Les documents suivants, ou certains seulement, sont cités dans le présent document à titre de références normatives et sont indispensables à l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

NOTE Dans le cas où une publication internationale est modifiée par des modifications communes, indiqué par (mod), l'EN / le HD correspondant(e) s'applique.

Addition à l'Annexe ZA de l'EN 61869-1:2009:

<u>Publication</u>	<u>Année</u>	<u>Titre</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Année</u>
CEI 61869-1 (mod)	2007	Transformateurs de mesure - Partie 1: Exigences générales	EN 61869-1	2009



Transformateurs de mesure

UTE/UF 38

Liste des organismes représentés dans la commission de normalisation

Secrétariat : UTE

EDF (ELECTRICITE DE FRANCE)

GIMELEC (GROUPEMENT DES INDUSTRIES DE L'EQUIPEMENT ELECTRIQUE,
DU CONTRÔLE-COMMANDE ET DES SERVICES ASSOCIES)

K-TECHNOLOGY & SERVICES

RTE (RESEAU DE TRANSPORT DE L'ELECTRICITE)

SADTEM (TRANSFORMATEURS ELECTRIQUES DE MESURE)