

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
44-6

Première édition
First edition
1992-03

Transformateurs de mesure

Partie 6:

Prescriptions concernant les transformateurs
de courant pour protection pour la réponse
en régime transitoire

Instrument transformers

Part 6:

Requirements for protective current transformers
for transient performance



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 44-6: 1992

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

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

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)*, qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

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

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

Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

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

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*, which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

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

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
44-6

Première édition
First edition
1992-03

Transformateurs de mesure

Partie 6:
Prescriptions concernant les transformateurs
de courant pour protection pour la réponse
en régime transitoire

Instrument transformers

Part 6:
Requirements for protective current transformers
for transient performance

© CEI 1992 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
 Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives	8
3 Définitions	8
4 Valeurs normales et performances requises	16
5 Méthodes de spécification	20
6 Marquage de la plaque signalétique	22
7 Essais	26
 Annexes	
A Equations théoriques fondamentales relatives au dimensionnement pour le régime transitoire	34
B Détermination de la caractéristique d'excitation	36
C Essais directs	58
D Guide d'identification des critères de performance d'un transformateur de courant destiné aux relais de protection	72
E Détermination de l'erreur sur le rapport des nombres de spires	84

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Definitions	9
4 Ratings and performance requirements	17
5 Methods of specification	21
6 Marking of rating plate	23
7 Tests	27
Annexes	
A Basic theoretical equations for transient dimensioning	35
B Determination of core magnetization characteristic	37
C Direct tests	59
D Guide to performance criteria for current transformer for protection relaying	73
E Determination of turns ratio error	85

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE MESURE

Partie 6: Prescriptions concernant les transformateurs de courant pour protection pour la réponse en régime transitoire

AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La présente partie de la Norme internationale CEI 44 a été établie par le Comité d'Etudes n° 38 de la CEI: Transformateurs de mesure.

Le texte de cette partie est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapports de vote	Procédure des Deux Mois	Rapport de vote
38(BC)78	38(BC)81 & 81A	38(BC)83	38(BC)86

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette partie.

Cette partie de la CEI 44 doit être lue conjointement avec la CEI 185 et sa modification n° 1.

Les annexes A, B, C, D et E font partie intégrante de la présente partie.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

INSTRUMENT TRANSFORMERS
**Part 6: Requirements for protective current transformers
for transient performance**
FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This part of International Standard IEC 44 has been prepared by IEC Technical Committee No. 38: Instrument transformers.

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

Six Months' Rule	Reports on Voting	Two Months' Procedure	Report on Voting
38(CO)78	38(CO)81 & 81A	38(CO)83	38(CO)86

Full information on the voting for the approval of this part can be found in the Voting Reports indicated in the above table.

This part of IEC 44 is to be read in conjunction with IEC 185 and its Amendment No. 1.

Annexes A, B, C, D and E form an integral part of this part.

INTRODUCTION

Les critères de réponse des transformateurs de courant de classe P figurant au chapitre III de la CEI 185 sont relatifs à un courant primaire appliqué de régime établi, alternatif symétrique, pour lequel la force électromotrice secondaire limite est telle que définie en 34.5 de la CEI 185. Dans la présente partie de la CEI 44, les prescriptions pour les transformateurs de courant pour protection tels que classifiés en 3.5 doivent tenir compte du flux additionnel de couplage avec l'enroulement secondaire correspondant à la composante apériodique du courant appliqué. De façon précise, la condition limite est définie par l'intégrale de la tension qui est induite dans l'enroulement secondaire du transformateur de courant pour faire circuler, dans les conditions de fonctionnement spécifiées, le courant dans la boucle secondaire, comprenant l'enroulement et la résistance secondaire. Pour la commodité des calculs, on utilise, pour définir la condition limite, une force électromotrice sinusoïdale équivalente. Se reporter aussi à l'annexe B.

INTRODUCTION

Performance criteria for class P current transformers included in Chapter III of IEC 185 relate to a steady state a.c. symmetrical primary energizing current which allows the limiting secondary e.m.f. to be as defined in 34.5 of IEC 185. In this part of IEC 44, requirements for protective current transformers as classified by 3.5 take account of the additional flux linking the secondary winding due to the d.c. component of energizing current. Strictly, the limiting condition is defined by the integral of the voltage which is induced in the secondary winding of the current transformer in order to drive current in the secondary loop, inclusive of winding and secondary resistance, for the specified energizing conditions. For mathematical convenience, an equivalent sinusoidal e.m.f. is used to define the limiting condition. Refer also to annex B.

TRANSFORMATEURS DE MESURE

Partie 6: Prescriptions concernant les transformateurs de courant pour protection pour la réponse en régime transitoire

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 44 est relative aux prescriptions et aux essais qui, en complément de ceux indiqués au chapitre I de la CEI 185, s'appliquent aux transformateurs de courant inductifs destinés à être utilisés avec des systèmes de protection électrique pour lesquels il est primordial que les transformateurs de courant conservent une précision déterminée en présence d'un courant atteignant plusieurs fois le courant assigné et comportant une composante apériodique décroissant exponentiellement avec une constante de temps fixée.

2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 44. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 44 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 56: 1987, *Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension.*

CEI 185: 1987, *Transformateurs de courant.*

3 Définitions

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

3.1 courant primaire de court-circuit assigné (i_{psc}): Valeur efficace du courant primaire symétrique de court-circuit sur laquelle doivent être fondées les conditions assignées relatives à la précision du transformateur de courant.

3.2 courant d'erreur instantané (i_ε): Différence entre les valeurs instantanées du courant secondaire (i_s) multiplié par le rapport de transformation assigné (K_n) et du courant primaire (i_p):

$$i_\varepsilon = K_n i_s - i_p$$

Lorsque ce courant comporte deux composantes, l'une alternative et l'autre apériodique, ces composantes constituantes sont identifiées séparément comme suit:

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

INSTRUMENT TRANSFORMERS

Part 6: Requirements for protective current transformers for transient performance

1 Scope

This part of IEC 44 covers the requirements and tests, in addition to those in Chapter I of IEC 185, that are necessary for inductive current transformers for use with electrical protective schemes in which the prime requirement for the current transformers is the maintenance of a defined performance up to several times the rated current when the current contains an exponentially decaying d.c. component of defined time constant.

2 Normative references

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 44. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 44 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 56: 1987, *High-voltage alternating-current circuit-breakers*.

IEC 185: 1987, *Current transformers*.

3 Definitions

For the purpose of this part of IEC 44, the following definitions apply.

3.1 rated primary short-circuit current (I_{psc}): R.M.S. value of primary symmetrical short-circuit current on which the rated accuracy performance of the current transformer is based.

3.2 instantaneous error current (i_e): Difference between the instantaneous values of the secondary current (i_s) multiplied by the rated transformation ratio (K_n) and the primary current (i_p):

$$i_e = K_n i_s - i_p$$

When both alternating current and direct current components are present, the constituent components are separately identified as follows:

$$i_e = i_{eac} + i_{edc} = (K_n i_{sac} - i_{pac}) + (K_n i_{sdc} - i_{pdc})$$

3.3 erreur instantanée (totale) de crête ($\hat{\epsilon}$): Courant d'erreur instantané maximal, pour le cycle de fonctionnement spécifié, exprimé en pourcentage de la valeur instantanée de crête du courant primaire de court-circuit assigné:

$$\hat{\epsilon} = 100 \hat{i}_{\epsilon} / (\sqrt{2} I_{psc}) \quad (\%)$$

3.4 erreur instantanée de crête sur la composante alternative du courant ($\hat{\epsilon}_{ac}$): Erreur instantanée maximale sur la composante alternative du courant exprimée en pourcentage de la valeur instantanée de crête du courant primaire de court-circuit assigné:

$$\hat{\epsilon}_{ac} = 100 \hat{i}_{\epsilon ac} / (\sqrt{2} I_{psc}) \quad (\%)$$

3.5 classes de transformateurs de courant pour protection: Les transformateurs de courant pour protection sont classés comme suit selon leurs performances fonctionnelles:

classe P: Limite de précision définie par l'erreur composée ($\hat{\epsilon}_c$) pour un courant primaire symétrique de régime établi. Aucune limite pour le flux rémanent.

classe TPS: Transformateur de courant à faible flux de fuites dont les performances sont définies par des limites fixées pour les caractéristiques d'excitation par l'enroulement secondaire et pour l'erreur sur le rapport des nombres de spires. Aucune limite pour le flux rémanent.

classe TPX: Limite de précision définie par l'erreur instantanée de crête ($\hat{\epsilon}$) au cours du cycle de fonctionnement en régime transitoire spécifié. Aucune limite pour le flux rémanent.

classe TPY: Limite de précision définie par l'erreur instantanée de crête ($\hat{\epsilon}$) au cours du cycle de fonctionnement en régime transitoire spécifié. Le flux rémanent ne doit pas excéder 10 % du flux de saturation.

classe TPZ: Limite de précision définie par l'erreur instantanée de crête sur la composante alternative du courant ($\hat{\epsilon}_{ac}$) au cours d'un seul passage du courant présentant la composante apériodique maximale, la constante de temps de la boucle secondaire ayant la valeur spécifiée. Aucune exigence concernant l'erreur limite sur la composante apériodique du courant. Flux rémanent devant être pratiquement négligeable.

3.6 constante de temps primaire spécifiée (T_p): Valeur spécifiée de la constante de temps de la composante apériodique du courant primaire sur laquelle les performances du transformateur de courant doivent être fondées. Cette valeur peut aussi être une valeur «assignée» pour les transformateurs de courant des classes TPX, TPY et TPZ et elle sera alors indiquée sur la plaque signalétique.

3.7 temps admissible jusqu'à la limite de précision (t_{al}): Temps pendant lequel la précision spécifiée doit être conservée au cours de toute période spécifiée de passage du courant faisant partie d'un cycle de fonctionnement donné

NOTE - Ce temps est habituellement fixé par le temps critique de mesure du système de protection associé. Lorsque l'exigence la plus contraignante se trouve fixée par la stabilité de fonctionnement du système de protection, il peut être nécessaire également de tenir compte du temps requis par le disjoncteur pour interrompre le courant.

3.3 peak instantaneous (total) error ($\hat{\epsilon}$): Maximum instantaneous error current, for the specified duty cycle, expressed as a percentage of the peak instantaneous value of the rated primary short-circuit current:

$$\hat{\epsilon} = 100 \hat{i}_e / (\sqrt{2} I_{psc}) \quad (\%)$$

3.4 peak instantaneous alternating current component error (ϵ_{ac}): Maximum instantaneous error of the alternating current component expressed as a percentage of the peak instantaneous value of the rated primary short-circuit current:

$$\hat{\epsilon}_{ac} = 100 \hat{i}_{\epsilon ac} / (\sqrt{2} I_{psc}) \quad (\%)$$

3.5 protective current transformer classes: Current transformers for protection are classified according to functional performance as follows:

class P: Accuracy limit defined by composite error ($\hat{\epsilon}_c$) with steady state symmetrical primary current. No limit for remanent flux.

class TPS: Low leakage flux current transformer for which performance is defined by the secondary excitation characteristics and turns ratio error limits. No limit for remanent flux.

class TPX: Accuracy limit defined by peak instantaneous error ($\hat{\epsilon}$) during specified transient duty cycle. No limit for remanent flux.

class TPY: Accuracy limit defined by peak instantaneous error ($\hat{\epsilon}$) during specified transient duty cycle. Remanent flux not to exceed 10 % of the saturation flux.

class TPZ: Accuracy limit defined by peak instantaneous alternating current component error ($\hat{\epsilon}_{ac}$) during single energization with maximum d.c. offset at specified secondary loop time constant. No requirements for d.c. component error limit. Remanent flux to be practically negligible.

3.6 specified primary time constant (T_p): That specified value of the time constant of the d.c. component of the primary current on which the performance of the current transformer is based. This value may also be a rated value for class TPX, TPY and TPZ current transformers and then will be marked on the rating plate.

3.7 permissible time to accuracy limit (t_{al}): Time during which the specified accuracy is maintained during any specified energization period of a given duty cycle.

NOTE - This time will usually be defined by the critical measuring time of the associated protection scheme. When stable operation of the protection scheme is a limiting requirement, it may also be necessary to consider the time taken by the circuit breaker to interrupt the current.

3.8 temps jusqu'au flux maximal (t_{max}): Temps écoulé, au cours d'une période prescrite de passage du courant, à l'instant où le flux transitoire dans le circuit magnétique d'un transformateur de courant atteint une valeur maximale, en supposant que le circuit magnétique ne se sature pas.

3.9 temps de pause (au cours d'un réenclenchement automatique) (t_{fr}): 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 (voir aussi la CEI 56).

3.10 cycle de fonctionnement spécifié (F-0 et/ou F-0-F-0): Cycle de fonctionnement pour lequel on considère que, au cours de chaque passage spécifié du courant primaire, celui-ci doit présenter la «pleine asymétrie» (voir note ci-dessous), avec la constante de temps de décroissance spécifié (T_p), et avoir la valeur assignée (I_{psc}).

Les cycles de fonctionnement sont les suivants:

Un seul passage du courant: F - t' - 0

Deux passages du courant: F - t' - 0 - t'' - F - t'' - 0

(les deux passages ont la même polarité du flux)

où:

t' est la durée du premier passage du courant, la précision spécifiée étant conservée pendant le temps t'_{al}

t'' est la durée du deuxième passage du courant, la précision spécifiée étant conservée pendant le temps t''_{al}.

NOTE - La spécification d'une asymétrie partielle réduirait la valeur requise pour le facteur de régime transitoire d'une quantité approximativement proportionnelle à la réduction. Pour cette raison, la spécification des paramètres d'une pleine asymétrie est recommandée.

3.11 charge résistive assignée (R_b): Valeur assignée de la charge résistive connectée aux bornes secondaires exprimée en ohms.

3.12 résistance de l'enroulement secondaire (R_{ct}): Résistance en courant continu de l'enroulement secondaire, exprimée en ohms, ramenée à 75 °C ou à toute autre température qui peut être spécifiée.

3.13 résistance de la boucle secondaire (R_s): Résistance totale de la boucle secondaire, comprenant la résistance de l'enroulement secondaire ramenée à 75 °C, sauf spécification différente, et toutes les charges externes raccordées.

3.14 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 à partir de la somme des inductances magnétisantes et de fuites (L_s), et de la résistance de la boucle secondaire (R_s):

$$T_s = L_s / R_s$$

3.15 facteur de courant symétrique de court-circuit assigné (K_{ssc}): Rapport:

$$K_{ssc} = I_{psc} / I_{pn}$$

3.8 time to maximum flux (t_{\max}): Elapsed time during a prescribed energization period at which the transient flux in a current transformer core achieves maximum value, it being assumed that saturation of the core does not occur.

3.9 dead time (during auto-reclosing) (t_{fr}): Time interval between interruption and re-application of the primary short-circuit current during a circuit breaker auto-reclosing duty cycle (refer also to IEC 56).

3.10 specified duty cycle (C-0 and/or C-0-C-0): Duty cycle in which, during each specified energization, the primary energizing current is assumed to be "fully offset" (see note below), with the specified decay time constant (T_p) and be of rated amplitude (I_{psc}).

Duty cycles are as follows:

Single energization: C - t' - 0

Double energization: C - t' - 0 - t_{fr} - C - t'' - 0

(both energizations in the same polarity of flux)

where:

t' is the duration of first current flow: specified accuracy being maintained during time t'_{al}

t'' is the duration of second current flow: specified accuracy being maintained during time t''_{al} .

NOTE - Specification of partial offset would reduce the required transient factor by an amount approximately proportional to the reduction. For this reason specification of full offset parameters is recommended.

3.11 rated resistive burden (R_b): Rated value of the secondary connected resistive burden in ohms.

3.12 secondary winding resistance (R_{ct}): Secondary winding d.c. resistance in ohms, corrected to 75 °C or such other temperature as may be specified.

3.13 secondary loop resistance (R_s): Total resistance of the secondary circuit, inclusive of the secondary winding resistance corrected to 75 °C, unless otherwise specified, and inclusive of all external burden connected.

3.14 rated secondary loop time constant (T_s): Value of the time constant of the secondary loop of the current transformer obtained from the sum of the magnetizing and the leakage inductances (L_s) and the secondary loop resistance (R_s):

$$T_s = L_s / R_s$$

3.15 rated symmetrical short-circuit current factor (K_{ssc}): The ratio:

$$K_{ssc} = I_{psc} / I_{pn}$$

3.16 facteur de régime transitoire (K_{tf}): Rapport du flux total théorique de couplage embrassé par l'enroulement secondaire à la valeur instantanée de crête de la composante alternative de ce flux, lorsqu'un transformateur de courant se trouve soumis à un seul passage spécifié du courant et que l'on suppose que la constante de temps de la boucle secondaire (T_s) conserve une valeur constante pendant toute la durée du passage du courant.

3.17 facteur de dimensionnement pour le régime transitoire assigné (K_{td}): Valeur théorique représentative du dimensionnement pour le régime transitoire nécessaire pour satisfaire au cycle de fonctionnement spécifié.

Les relations mathématiques entre T_p , T_s , K_{tf} et K_{td} sont données à l'annexe B.

3.18 transformateur de courant à faible flux de fuites: Transformateur de courant pour lequel la connaissance de la caractéristique d'excitation par l'enroulement secondaire et de la résistance de cet enroulement suffit pour la détermination des performances de l'appareil en régime transitoire, à toute combinaison de charge et de cycle de fonctionnement pour lequel le courant primaire symétrique de court-circuit a une valeur égale ou inférieure à la valeur assignée, jusqu'à la limite théorique des possibilités du transformateur de courant résultant de sa caractéristique d'excitation par l'enroulement secondaire.

3.19 transformateur de courant à grand flux de fuites: Transformateur de courant qui ne répond pas aux prescriptions du 3.18 et pour lequel le constructeur prévoit une marge supplémentaire de dimensionnement pour tenir compte des effets d'influence qui produisent un flux de fuites supplémentaires. On attend d'un tel transformateur de courant qu'il réponde à un cycle de fonctionnement spécifié.

NOTE - En général, si le facteur théorique de dimensionnement pour le régime transitoire (K_{td}) est respecté pour un cycle de fonctionnement F-0-F-0, la précision est conservée au cours d'un cycle de fonctionnement F-0 au moins jusqu'à l'instant auquel la force électromotrice secondaire limite équivalente assignée (E_{al}), définie en 3.20 ci-après, est atteinte.

3.20 force électromotrice secondaire limite équivalente assignée (E_{al}): Valeur efficace de la force électromotrice équivalente dans le circuit secondaire, à la fréquence assignée, nécessaire pour répondre au cycle de fonctionnement spécifié et calculée comme suit:

$$E_{al} = K_{ssc} K_{td} (R_{ct} + R_b) I_{sn} \quad (V, \text{valeur efficace})$$

3.21 tension secondaire limite d'excitation équivalente assignée (U_{al}): Valeur efficace de la tension sinusoïdale, à la fréquence assignée, nécessaire pour garantir que la force électromotrice secondaire limite équivalente assignée est bien atteinte, la construction du transformateur de courant ayant été dûment prise en compte, et qui, appliquée à l'enroulement secondaire du transformateur de courant, produirait un courant magnétisant au plus égal au courant d'erreur maximal admissible correspondant à la classe du transformateur de courant.

$$U_{al} = E_{al} F_c \quad (V, \text{valeur efficace})$$

où F_c est le facteur de construction défini en 3.29.

3.16 transient factor (K_{tf}): Ratio of the theoretical total secondary linked flux to the peak instantaneous value of the a.c. component of that flux, when a current transformer is subjected to a specified single energization and the secondary loop time constant (T_s) is assumed to have retained a constant value throughout the energization period.

3.17 rated transient dimensioning factor (K_{td}): That theoretical value representative of the transient dimensioning necessary to satisfy the specified duty cycle.

Mathematical relationships between T_p , T_s , K_{tf} and K_{td} are given in annex A.

3.18 low leakage flux current transformer: Current transformer for which a knowledge of the secondary excitation characteristic and secondary winding resistance is sufficient for an assessment of its transient performance for any combination of burden and duty cycle at rated or lower value of primary symmetrical short-circuit current up to the theoretical limit of the current transformer capability determined from the secondary excitation characteristic.

3.19 high leakage flux current transformer: Current transformer which does not satisfy the requirements of 3.18 and for which an additional allowance is made by the manufacturer to take account of influencing effects which result in additional leakage flux. Such a current transformer is expected to satisfy a specified duty cycle.

NOTE - In general, if the theoretical transient dimensioning factor (K_{td}) is satisfied for a C-0-C-0 duty cycle, then the accuracy is maintained during a C-0 duty cycle at least up to the time at which the rated equivalent limiting secondary e.m.f. (E_{al}), defined in 3.20, is reached.

3.20 rated equivalent limiting secondary e.m.f. (E_{al}): That r.m.s. value of the equivalent secondary circuit e.m.f. of rated frequency necessary to satisfy the specified duty cycle and derived from the following:

$$E_{al} = K_{ssc} K_{td} (R_{ct} + R_b) I_{sn} \quad (V, \text{r.m.s.})$$

3.21 rated equivalent excitation limiting secondary voltage (U_{al}): That r.m.s. value of sinusoidal voltage of rated frequency necessary to ensure that the rated equivalent limiting secondary e.m.f. will be attained after due account is taken of the current transformer construction and which, when applied to the transformer secondary winding, would result in a magnetizing current not exceeding the maximum permissible error current appropriate to the current transformer class.

$$U_{al} = E_{al} F_c \quad (V, \text{r.m.s.})$$

where F_c is the factor of construction defined in 3.29.

3.22 force électromotrice secondaire limite de précision équivalente (E_{alc}): Valeur efficace de la force électromotrice équivalente, à la fréquence assignée, déterminée au cours d'un essai direct, au moment où le courant d'erreur observé correspond à la limite relative à la classe.

NOTE - Le courant d'erreur est une valeur absolue fondée sur la valeur spécifiée du courant primaire et ne se trouve donc affecté par aucune des modifications des valeurs des paramètres qui ont pu s'avérer nécessaires pour atteindre la condition limite d'erreur secondaire.

3.23 tension secondaire limite de précision équivalente (U_{alc}): Valeur efficace de la tension sinusoïdale, à la fréquence assignée, qui, si elle était appliquée à l'enroulement secondaire d'un transformateur de courant, produirait un courant d'excitation correspondant au courant d'erreur maximal admissible relatif à la classe du transformateur de courant.

3.24 flux de saturation (Ψ_s): Valeur de crête du flux qui existerait dans un circuit magnétique à la transition de l'état non saturé à l'état de saturation complète et que l'on suppose être celle relative au point de la caractéristique B-H du circuit magnétique considéré tel qu'une croissance de B de 10 % donne lieu à une croissance de H de 50 %.

3.25 flux rémanent (Ψ_r): Valeur du flux qui subsisterait dans le circuit magnétique trois minutes après l'interruption d'un courant d'excitation de grandeur suffisante pour produire le flux de saturation (Ψ_s) défini en 3.24 ci-dessus.

3.26 facteur de rémanence (K_r): Rapport $K_r = \Psi_r / \Psi_s$

3.27 flux limite de précision (Φ_{al}): Valeur de crête du flux de couplage embrassé par l'enroulement secondaire correspondant à E_{al} :

$$\Phi_{al} = \sqrt{2} E_{al} / (2\pi f)$$

Lorsque E_{al} est exprimée en volts (valeur efficace), Φ_{al} se trouve exprimé en weber.

3.28 courant d'excitation secondaire limite de précision (I_{al}): Valeur de crête du courant d'excitation (d'erreur) correspondant à la classe du transformateur de courant.

3.29 facteur de construction (F_c): Facteur dont la valeur est déclarée par le constructeur pour le mode de construction concerné. Cette valeur est déterminée à partir du rapport:

$$F_c = U_{alc} / E_{alc}$$

4 Valeurs normales et performances requises

4.1 Valeurs normales du facteur de courant symétrique de court-circuit assigné (K_{ssc})

Les valeurs normales de K_{ssc} pour les transformateurs de courant pour protection prévus pour le régime transitoire sont:

3 - 5 - 7,5 - 10 - 12,5 - 15 - 17,5 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50

Les valeurs préférentielles sont soulignées.

3.22 equivalent secondary accuracy limiting e.m.f. (E_{alc}): That equivalent r.m.s. e.m.f. of rated frequency determined during a direct test when the observed error current corresponds to the appropriate limit for the class.

NOTE - The error current is an absolute value based on the specified primary current value and is thus not affected by any parametric changes which may have been necessary to attain the secondary error limiting condition.

3.23 equivalent secondary accuracy limiting voltage (U_{alc}): That r.m.s. value of sinusoidal voltage of rated frequency which, if applied to the secondary winding of a current transformer, would result in an exciting current corresponding to the maximum permissible error current appropriate to the current transformer class.

3.24 saturation flux (Ψ_s): That peak value of the flux which would exist in a core in the transition from the non-saturated to the fully saturated condition and deemed to be that point on the B-H characteristic for the core concerned at which a 10 % increase in B causes H to be increased by 50 %.

3.25 remanent flux (Ψ_r): That value of flux which would remain in the core three minutes after the interruption of an exciting current of sufficient magnitude as to induce the saturation flux (Ψ_s) defined in 3.24 above.

3.26 remanence factor (K_r): The ratio $K_r = \Psi_r / \Psi_s$

3.27 accuracy limit flux (Φ_{al}): That peak value of the secondary linked flux corresponding to E_{al} :

$$\Phi_{al} = \sqrt{2} E_{al} / (2\pi f)$$

When E_{al} is given in volts, r.m.s., Φ_{al} is expressed in weber.

3.28 accuracy limiting secondary exciting current (I_{al}): Peak value of the exciting (error) current appropriate to the current transformer class.

3.29 factor of construction (F_c): Factor declared by the manufacturer for the design. The factor of construction is determined from the ratio:

$$F_c = U_{alc} / E_{alc}$$

4 Ratings and performance requirements

4.1 Standard values for rated symmetrical short-circuit current factor (K_{ssc})

Standard values of K_{ssc} for protective current transformers for transient performance are:

3 - 5 - 7,5 - 10 - 12,5 - 15 - 17,5 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50

The preferred values are underlined.

4.2 Valeurs normales du courant symétrique de court-circuit

4.2.1 Courant assigné thermique de courte durée (I_{th})

Les valeurs efficaces normales, exprimées en kiloampères, sont:

6,3 - 8 - 10 - 12,5 - 16 - 20 - 25 - 31,5 - 40 - 50 - 63 - 80 - 100

4.2.2 Courant primaire de court-circuit assigné (I_{psc})

Les valeurs préférentielles sont obtenues en faisant le produit des valeurs de I_{pn} et K_{ssc} choisies parmi celles données respectivement en 4.1 de la CEI 185 et en 4.1 de cette partie de la CEI 44. Il n'est pas nécessaire que le produit soit exactement égal à I_{th} .

4.3 Valeurs normales de la constante de temps primaire assignée (T_p)

Les valeurs normales, exprimées en millisecondes, sont:

40 - 60 - 80 - 100 - 120

NOTE - Pour certaines applications, des valeurs plus élevées de la constante de temps primaire assignée peuvent être exigées. Exemple: circuits de grands turbo-alternateurs.

4.4 Valeurs normales du facteur de dimensionnement pour le régime transitoire assigné (K_{td})

Il n'y a pas actuellement de valeurs normales pour le facteur de dimensionnement pour le régime transitoire assigné car les valeurs de ce facteur dépendent des applications.

4.5 Valeurs normales de la charge résistive assignée (R_b)

Les valeurs normales de la charge résistive assignée, exprimées en ohms, pour les transformateurs de courant des classes TP, sont, sur la base d'un courant secondaire assigné de 1 A:

2,5 - 5 - 7,5 - 10 - 15

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

4.6 Limites d'erreur pour les transformateurs de courant de classe TPS

Le rapport des nombres de spires primaires et secondaires d'un transformateur de courant de classe TPS doit être numériquement égal à $1/K_n$. L'erreur sur ce rapport des nombres de spires ne doit pas dépasser $\pm 0,25$ %.

Les conditions limites de précision sont définies par la caractéristique de magnétisation et la tension secondaire limite d'excitation (U_{al}) ne doit pas être inférieure à la valeur spécifiée. Elle doit être telle qu'un accroissement de sa valeur de 10 % n'entraîne pas un accroissement de la valeur instantanée de crête du courant d'excitation correspondant supérieur à 100 %.

4.2 Standard values for symmetrical short-circuit current

4.2.1 Rated short-time thermal current (I_{th})

Standard r.m.s. values, expressed in kiloamperes, are:

6,3 - 8 - 10 - 12,5 - 16 - 20 - 25 - 31,5 - 40 - 50 - 63 - 80 - 100

4.2.2 Rated primary short-circuit current (I_{psc})

Preferred values are derived from the product of I_{pn} and K_{ssc} selected from the values given in 4.1 of IEC 185 and 4.1 of this part of IEC 44 respectively. The product need not be exactly equal to I_{th} .

4.3 Standard values for rated primary time constant (T_p)

Standard values, expressed in milliseconds, are:

40 - 60 - 80 - 100 - 120

NOTE - For some applications, higher values of rated primary time constant may be required. Example: large turbo-generator circuits.

4.4 Standard values for rated transient dimensioning factor (K_{td})

At present there are no standard values for the rated transient dimensioning factor because the values of this factor depend upon the application.

4.5 Standard values of rated resistive burden (R_b)

Standard values of rated resistive burden in ohms for class TP current transformers, based on a rated secondary current of 1 A are:

2,5 - 5 - 7,5 - 10 - 15

The preferred values are underlined. For current transformers having a rated secondary current other than 1 A, the above values should be adjusted in inverse ratio to the square of the current.

4.6 Error limits for TPS current transformers

The turns ratio of a TPS current transformer shall be numerically equal to $1/K_n$. The error in this turns ratio shall not exceed $\pm 0,25$ %.

The accuracy limiting conditions are defined by the magnetization characteristic and the excitation limiting secondary voltage U_{al} shall not be less than the specified value. The value shall be such that an increase of 10 % in magnitude does not result in an increase in the corresponding peak instantaneous exciting current exceeding 100 %.

La valeur de crête du courant d'excitation mesurée à la tension secondaire limite d'excitation ne doit pas dépasser la valeur spécifiée si celle-ci est fixée par l'acheteur. Si aucune limite n'est fixée, le courant d'excitation ne doit en aucun cas dépasser la valeur correspondant à 10 % de I_{th} , ramenée au côté secondaire (voir transformateurs de courant de classe TPX, tableau 1).

La tension secondaire limite d'excitation définie par l'acheteur est généralement exprimée comme suit:

$$U_{al} \geq K K_{ssc} (R_{ct} + R_b) I_{sn}$$

relation dans laquelle K est un paramètre de dimensionnement fixé par l'acheteur. R_{ct} résulte du mode de réalisation adopté par le constructeur à moins que, pour certaines applications, l'acheteur ne soit amené à fixer des limites pour assurer la coordination avec un autre équipement.

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

La résistance de la boucle secondaire étant réglée à la valeur $R_s = R_{ct} + R_b$, les erreurs ne doivent pas dépasser les valeurs indiquées par le tableau 1.

Tableau 1 - Limites des erreurs

Classe	Au courant primaire assigné			A la condition limite de précision
	Erreur de rapport %	Déphasage		Erreur instantanée de crête maximale %
		Min	Centirad	
TPX	±0,5	±30	±0,9	$\hat{\epsilon} = 10$
TPY	±1,0	±60	±1,8	$\hat{\epsilon} = 10$
TPZ	±1,0	180 ± 18	5,3 ± 0,6	$\hat{\epsilon}_{ac} = 10$

NOTE - Pour certaines utilisations, il peut être nécessaire d'admettre des écarts par rapport aux valeurs indiquées ci-dessus (voir aussi l'annexe D.3). De la même façon, la valeur absolue du déphasage peut, dans certains cas, présenter moins d'importance que l'obtention d'une dispersion minimale par rapport à la valeur moyenne dans une production de série donnée.

5 Méthodes de spécification

Les méthodes de spécification pour les différentes classes de transformateurs de courant sont illustrées par le tableau 2.

When specified by the purchaser, the measured value of the peak exciting current at the excitation limiting secondary voltage shall not exceed the specified value. If no limit is set, the exciting current shall, in any case, not exceed that value corresponding to 10 % of I_{th} referred to the secondary side (see TPX CTs, table 1).

The excitation limiting secondary voltage defined by the purchaser is generally expressed as follows:

$$U_{al} \geq K K_{SSC} (R_{ct} + R_b) I_{sn}$$

in which K is a dimensioning parameter assigned by the purchaser. R_{ct} is defined by the manufacturer's design except that for some applications limits may need to be set by the purchaser to enable co-ordination with other equipment.

4.7 Error limits for TPX, TPY and TPZ current transformers

With the secondary loop resistance adjusted to the value $R_s = R_{ct} + R_b$, the errors shall not exceed the values given in table 1.

Table 1 - Limits of error

Class	At rated primary current			At accuracy limit condition
	Ratio error %	Phase displacement		Maximum peak instantaneous error %
		Min	Centirad	
TPX	±0,5	±30	±0,9	$\hat{\epsilon} = 10$
TPY	±1,0	±60	±1,8	$\hat{\epsilon} = 10$
TPZ	±1,0	180 ± 18	5,3 ± 0,6	$\hat{\epsilon}_{ac} = 10$

NOTE - For some applications, deviation from the above values may be necessary (refer also to annex D.3). Similarly, the absolute value of the phase displacement may in some cases be of less importance than achieving minimal deviation from the average value of a given production series.

5 Methods of specification

The methods of specification for the different CT classes are illustrated in table 2.

Tableau 2 - Méthodes de spécification

Classe du transformateur de courant	TPS	TPX	TPY	TPZ
Courant primaire assigné	x	x	x	x
Courant secondaire assigné	x	x	x	x
Fréquence assignée	x	x	x	x
Tension la plus élevée pour le matériel et niveau d'isolement assigné	x	x	x	x
I_{th}	x	x	x	x
I_{dyn}	x	x	x	x
Rapport auquel s'applique la spécification	x	x	x	x
K_{ssc}	x	x	x	x
T_p	-	x	x	x
T_s	-	-	- voir note	-
Cycle de fonctionnement simple: t, t_{al} double: $t, t_{al}, t_{fr}, t'', t''_{al}$	-	x	x	-
R_b	x	x	x	x
K	x	-	-	-
I_{al} maximal à U_{al}	x	-	-	-
R_{ct}	x	-	-	-
x applicable – non applicable				
<p>NOTE - Lorsque l'acheteur veut obtenir une compatibilité entre des appareils existants et des nouveaux, une spécification d'alignement peut définir des valeurs limites pour certains paramètres, par exemple T_s ou R_{ct}. Il sera toutefois nécessaire d'admettre la possibilité de différences entre les conceptions. La communication des principaux objectifs pour l'application envisagée et du maximum d'informations sur les transformateurs de courant existants (plaque signalétique) permettra généralement d'obtenir des résultats acceptables.</p>				

6 Marquage de la plaque signalétique

La plaque signalétique doit porter les indications appropriées de l'article 23 de la CEI 185. Le tableau 3 fixe les indications complémentaires qui doivent y figurer.

Table 2 - Methods of specification

CT class	TPS	TPX	TPY	TPZ
Rated primary current	x	x	x	x
Rated secondary current	x	x	x	x
Rated frequency	x	x	x	x
Highest voltage for equipment and rated insulation level	x	x	x	x
I_{th}	x	x	x	x
I_{dyn}	x	x	x	x
Ratio to which specification applies	x	x	x	x
K_{ssc}	x	x	x	x
T_p	-	x	x	x
T_s	-	-	- see note	-
Duty cycle Single: t' , t'_{al} double: t' , t'_{al} , t_{fr} , t'' , t''_{al}	-	x	x	-
R_b	x	x	x	x
K	x	-	-	-
Maximum I_{al} at U_{al}	x	-	-	-
R_{ct}	x	-	-	-
x applicable – not applicable				
NOTE - When the purchaser wishes to obtain compatibility between existing equipment and new units, an alignment specification may define limiting values for certain parameters, for example T_s or R_{ct} . It will be necessary, however, to recognize possible differences between designs. Issue of the principal objectives for the intended application and best available (name-plate) data for the existing current transformers will usually achieve acceptable results.				

6 Marking of rating plate

The rating plate shall carry the appropriate information given in accordance with clause 23 of IEC 185. Table 3 identifies additional information to be included.

Tableau 3 - Indications devant figurer sur la plaque signalétique

Classe du transformateur de courant	TPS	TPX	TPY	TPZ	Références		Notes
					à la CEI 185	à la CEI 44-6	
I_{pn}	x	x	x	x	3.6	-	1
I_{sn}	x	x	x	x	3.7	-	1
I_{th}	x	x	x	x	3.25	-	3
I_{dyn}	x	x	x	x	3.26	-	3
K_{ssc}	x	x	x	x	- - -	3.1 3.15 4.2	
R_b	x	x	x	x	-	3.11	
R_{ct} (à ... °C)	x	x	x	x	-	3.12	
K_{td}	-	x	x	x	-	3.17	
K	x	-	-	-	-	4.6	
U_{al}	x	-	-	-	-	3.21	
I_{al}	x	-	-	-	-	3.28	
F_c	-	x	x	x	-	3.29	2
T_p	-	x	x	x	-	3.6	5
T_s	-	-	x	-	-	3.14	4, 5
Cycle de fonctionnement simple: t, t'_{al} double: $t, t'_{al}, t''_{fr}, t'', t''_{al}$	-	x	x	-	- -	3.9 3.10	5
x applicable – non applicable							
<p>NOTES</p> <p>1 Pour les transformateurs de courant pour protection à plusieurs rapports, I_{pn} et K_n seront habituellement les valeurs les plus élevées relatives à la gamme de rapports.</p> <p>2 Indication à fournir si $F_c > 1,1$.</p> <p>3 Les valeurs de I_{dyn} peuvent dépasser $2,5 I_{th}$ en fonction des valeurs de T_p et de I_{psc}.</p> <p>4 Lorsque T_s est supérieur à 10 s, il sera suffisant de marquer $T_s > 10$ s.</p> <p>5 Compte tenu de la corrélation existant entre T_p, T_s et les cycles de fonctionnement, leur indication sur la plaque signalétique peut être omise dans le cas de transformateurs de courant à faible flux de fuites.</p>							

Table 3 - Information to be included in the rating plate

CT class	TPS	TPX	TPY	TPZ	References		Notes
					to IEC 185	to IEC 44-6	
I_{pn}	x	x	x	x	3.6	—	1
I_{sn}	x	x	x	x	3.7	—	1
I_{th}	x	x	x	x	3.25	—	3
I_{dyn}	x	x	x	x	3.26	—	3
K_{ssc}	x	x	x	x	—	3.1 3.15 4.2	
R_b	x	x	x	x	—	3.11	
R_{ct} (at ... °C)	x	x	x	x	—	3.12	
K_{ld}	—	x	x	x	—	3.17	
K	x	—	—	—	—	4.6	
U_{al}	x	—	—	—	—	3.21	
I_{al}	x	—	—	—	—	3.28	
F_c	—	x	x	x	—	3.29	2
T_p	—	x	x	x	—	3.6	5
T_s	—	—	x	—	—	3.14	4, 5
Duty cycle single: t', t'_{al} double: $t', t'_{al}, t_{fr}, t'', t''_{al}$	—	x	x	—	—	3.9 3.10	5
x applicable – not applicable							
<p>NOTES</p> <p>1 For multiratio protective current transformers, I_{pn} and K_n will usually be the highest values applicable to the range of ratios.</p> <p>2 Data to be given if $F_c > 1,1$.</p> <p>3 Values for I_{dyn} may exceed 2,5 I_{th} depending on the values of T_p and I_{psc}.</p> <p>4 When T_s is greater than 10 s, it will usually be adequate to mark on the rating plate $T_s > 10$ s.</p> <p>5 T_p, T_s and the duty cycles are interrelated and their indication on the rating plate could be omitted for low leakage flux CTs.</p>							

7 Essais

7.1 Afin de prouver que le transformateur de courant répond aux prescriptions de la présente norme, les essais indiqués ci-après doivent être effectués conformément à la liste qui en est donnée par le tableau 4.

Tableau 4 - Liste des essais

Essai	Classe du transformateur de courant				Références	
	TPS	TPX	TPY	TPZ	Article ou paragraphe	Note
Erreur sur le rapport des nombres de spires	x	-	-	-	7.2.1	1
Erreur de rapport et déphasage en régime établi	-	x	x	x	7.2.2	1
R_{ct}	x	x	x	x	7.2.3	1
Caractéristique d'excitation	x	x	x	x	7.2.4	1
K_r	-	-	x	-	7.2.5	1
T_s	-	-	x	x	7.2.6	1
Erreurs aux conditions limites	-	x	x	x	7.3	2
F_c	-	x	x	x	7.3.1	2
Vérification d'une conception du type à faible flux de fuites ($F_c < 1,1$)	x	-	-	-	7.4	3
x applicable – non applicable						
NOTES						
1 Essais de type et individuels.						
2 Essais de type.						
3 Essais spéciaux à exécuter seulement sur accord entre le constructeur et l'acheteur.						

7.2 Essais de type et essais individuels

7.2.1 Erreur sur le rapport des nombres de spires

L'erreur sur le rapport des nombres de spires doit être déterminée par une méthode appropriée. Voir l'annexe E.

7.2.2 Erreur de rapport et déphasage en régime établi

La résistance de la boucle secondaire étant réglée à la valeur assignée ($R_s = R_{ct} + R_b$), l'erreur de rapport et le déphasage doivent être mesurés au courant assigné (I_{pn}).

7 Tests

7.1 To prove compliance of the current transformer with the requirements of this standard the following tests shall be performed as required by the test schedule - table 4.

Table 4 - Test schedule

Test	CT class				References	
	TPS	TPX	TPY	TPZ	Clause or subclause	Note
Turns ratio error	x	-	-	-	7.2.1	1
Steady state ratio error and phase displacement	-	x	x	x	7.2.2	1
R_{ct}	x	x	x	x	7.2.3	1
Excitation characteristic	x	x	x	x	7.2.4	1
K_r	-	-	x	-	7.2.5	1
T_s	-	-	x	x	7.2.6	1
Errors at limiting conditions	-	x	x	x	7.3	2
F_c	-	x	x	x	7.3.1	2
Verification of low leakage flux design ($F_c < 1,1$)	x	-	-	-	7.4	3
x applicable – not applicable						
NOTES						
1 Type and routine tests.						
2 Type tests.						
3 Special tests performed only on agreement between manufacturer and purchaser.						

7.2 Type and routine tests

7.2.1 Turns ratio error

The turns ratio error shall be determined by an appropriate method. Refer to annex E.

7.2.2 Steady state ratio error and phase displacement

With the secondary loop resistance adjusted to rated value ($R_s = R_{ct} + R_b$) ratio error and phase displacement shall be measured at rated current (I_{pn}).

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

La résistance de l'enroulement secondaire doit être mesurée et une correction appropriée doit être appliquée si la mesure est faite à une température qui diffère de 75 °C ou de toute autre température qui peut avoir été spécifiée. La valeur ainsi corrigée est la valeur assignée pour R_{ct} .

7.2.4 Détermination de la caractéristique d'excitation par l'enroulement secondaire

Pour les essais de type, il est nécessaire de tracer une courbe d'excitation au moins jusqu'à 1,1 fois le flux de saturation. Le constructeur peut choisir la méthode d'essai. Quelques méthodes d'essai sont indiquées dans l'annexe B.

Pour les essais individuels sur les transformateurs de courant des classes TPX et TPY, la valeur de crête du courant d'excitation à la tension U_{al} doit être mesurée.

Pour les essais individuels sur les transformateurs de courant de la classe TPZ, la valeur de crête du courant d'excitation secondaire \hat{I}_{al} ne doit pas dépasser la valeur donnée par l'expression:

$$\hat{I}_{al} \leq \sqrt{2} I_{sn} K_{ssc} \left\{ [(K_{td} - 1) / \omega T_s] + 0,1 \right\}$$

NOTE - Pour les transformateurs de classe TPZ, la précision est spécifiée seulement pour la composante alternative du courant tandis que, pour la détermination de la valeur admissible de \hat{I}_{al} lors des essais indirects, il est nécessaire de tenir compte aussi de la composante apériodique du courant d'excitation. Dans l'équation ci-dessus la composante apériodique est représentée par $(K_{td} - 1)$ et l'erreur admissible sur la composante alternative par 0,1.

7.2.5 Détermination du facteur de rémanence (K_r)

Le facteur de rémanence (K_r) doit être déterminé afin de prouver que les limites relatives à la classe intéressée sont respectées. Voir l'annexe B.

7.2.6 Calcul de la constante de temps de la boucle secondaire (T_s)

La constante de temps de la boucle secondaire (T_s) doit être déterminée. Elle ne doit pas différer de la valeur déclarée ou assignée de plus de ± 30 % pour les transformateurs de courant de la classe TPY et de ± 10 % pour ceux de la classe TPZ. Voir l'annexe B.

7.3 Essais de type

7.3.1 Généralités

Les essais directs destinés à être faits aux valeurs limites spécifiées des paramètres et suivant le cycle spécifié sont des essais de type. Ils ont pour but:

- la mesure de la valeur de crête du courant d'erreur instantané du transformateur de courant, lorsque celui-ci est soumis au cycle de fonctionnement spécifié, selon 3.3 (classes TPX et TPY) et 3.4 (classe TPZ);
- la détermination du facteur de construction (F_c) (voir 3.29).

7.2.3 Determination of secondary winding resistance (R_{ct})

The secondary winding resistance shall be measured and an appropriate correction applied if the measurement is made at a temperature which differs from 75 °C or such other temperature as may have been specified. The value so adjusted is the rated value for R_{ct} .

7.2.4 Determination of secondary excitation characteristic

For type tests, an excitation curve is required up to not less than 1,1 times saturation flux. The manufacturer may choose the test method. Some test methods are given in annex B.

For routine tests on TPX and TPY current transformers, the peak value of the exciting current at U_{al} is to be measured.

For routine tests on TPZ current transformers, the peak value of the exciting secondary current \hat{I}_{al} shall not exceed the value obtained from the expression given below:

$$\hat{I}_{al} \leq \sqrt{2} I_{sn} K_{ssc} \left\{ [(K_{td} - 1) / \omega T_s] + 0,1 \right\}$$

NOTE - For TPZ current transformers the accuracy is specified only for the a.c. component while, in the determination of the permissible value of \hat{I}_{al} during indirect tests, it is necessary to take into account also the d.c. component of the exciting current. In the above equation, the d.c. component is represented by $(K_{td} - 1)$ and the permissible error in the a.c. component by 0,1.

7.2.5 Determination of remanence factor (K_r)

The remanence factor (K_r) shall be determined to prove compliance with the appropriate class limits. Refer to annex B.

7.2.6 Calculation of secondary loop time constant (T_s)

The secondary loop time constant (T_s) shall be determined and shall not differ from the declared or the rated value by more than $\pm 30\%$ for class TPY and $\pm 10\%$ for class TPZ current transformers. Refer to annex B.

7.3 Type tests

7.3.1 General

Direct tests intended to be made at the specified limiting parameters and duty cycle are type tests. Their purpose is:

- to measure the peak instantaneous error current of the CT, when subjected to the specified duty cycle, according to 3.3 (classes TPX and TPY) and 3.4 (class TPZ);
- to determine the factor of construction (F_c) (see 3.29).

Les essais peuvent être effectués sur un modèle en grandeur réelle de l'ensemble de la partie active du transformateur de courant y compris toutes les enveloppes métalliques mais avec une isolation réduite.

Les essais directs peuvent être remplacés par l'essai d'excitation par l'enroulement secondaire si l'une ou l'autre des conditions suivantes est satisfaite:

- a) le transformateur de courant est du type à faible flux de fuites.

Pour satisfaire cette exigence, il doit être démontré par un dessin que le transformateur de courant a effectivement un circuit magnétique torique continu avec des entrefers uniformément répartis, un enroulement secondaire uniformément réparti, un conducteur primaire disposé de façon à respecter la symétrie de rotation et que les influences des conducteurs de la phase adjacente à l'extérieur de l'enveloppe du transformateur de courant et des phases voisines sont négligeables.

- b) un rapport d'essai de type d'un transformateur de courant ayant effectivement la même construction et le même courant primaire de court-circuit assigné est disponible.

NOTE - Si, en dépit de l'information donnée ci-dessus, des essais directs sont exigés par l'acheteur, celui-ci devra l'indiquer dans sa commande.

7.3.2 Mesure du courant d'erreur instantané de crête

Les méthodes de mesure directe du courant d'erreur instantané de crête aux conditions limites de précision sont indiquées à l'annexe C.

On doit enregistrer les valeurs instantanées des courants primaire, secondaire et du courant d'erreur, ainsi que l'intégrale par rapport au temps de la tension aux bornes secondaires. On déduit de cet enregistrement les valeurs de la force électromotrice secondaire équivalente aux conditions limites (E_{al} et E_{alc}).

Les données suivantes doivent être incluses dans le rapport d'essai de type:

- a) désignation du type;
- b) année de construction/numéro de série;
- c) indications figurant sur la plaque signalétique;
- d) résultats de l'essai d'excitation par l'enroulement secondaire (voir annexe B);
- e) résultats des essais directs incluant les paramètres d'essai, le schéma du circuit d'essai, une (ou des) photographie(s) de la disposition des éléments de ce circuit ainsi que les enregistrements et l'analyse des résultats;
- f) déclaration du constructeur relative à la validité de la représentativité, pour le transformateur de courant commandé, de l'essai de type effectué sur un transformateur de courant répondant à d'autres données techniques.

La corrélation entre les essais directs et indirects (mesure de la caractéristique d'excitation par l'enroulement secondaire) peut être établie comme il résulte de l'un ou l'autre des paragraphes suivants mais peut ne pas être nécessaire s'il existe des certificats d'essai relatifs à un appareil qui a été soumis antérieurement aux essais de type et qui est effectivement de même construction et répond aux mêmes prescriptions de fonctionnement.

The tests can be performed on a full scale model of the active part of the current transformer assembly inclusive of all metal housings but with reduced insulation.

Direct tests may be replaced by the secondary exciting test, if either of the following is satisfied:

- a) the current transformer is of the low leakage flux type.

To satisfy this requirement, it shall be shown by a drawing that the current transformer has substantially continuous ring core with air gaps uniformly distributed, uniformly distributed secondary winding, a primary conductor symmetrical with respect to rotation and the influences of conductors of the adjacent phase outside of the CT housing and of the neighbouring phases are negligible.

- b) a type test report of a current transformer having substantially the same construction and rated primary short-circuit current is available.

NOTE - If, despite the information given above, direct tests are required by the purchaser, it will be stated in the order.

7.3.2 *Measurement of peak instantaneous error current*

Methods for direct measurement of the peak instantaneous error current at accuracy limiting conditions are given in annex C.

Records shall be taken of the instantaneous values of primary, secondary and error currents in addition to the integral with time of the voltage across the secondary terminals from which record the equivalent secondary e.m.f. can be derived at limiting conditions (E_{al} and E_{alc}).

The following data shall be included in the type test report:

- a) type designation;
- b) year of manufacture/serial number;
- c) rating plate markings;
- d) results of secondary exciting test (see annex B);
- e) results of direct tests including test parameters, test circuit diagram, photo(s) of test arrangement, records and evolution of results;
- f) declaration of the manufacturer concerning the validity to the ordered CT of the type test made on CT having other technical data.

Correlation between direct and indirect (secondary excitation characteristic measurement) tests may be selected from either of the following but may not be necessary if certificates are available for a previously type-tested unit of substantially the same construction and performance requirements.

7.3.3 Détermination du facteur de construction (F_c)

La méthode de détermination du facteur de construction est indiquée à l'annexe C.

Le facteur de construction, déduit du rapport U_{alc}/E_{alc} , est valable pour le fonctionnement du transformateur de courant aux conditions assignées et avec la valeur théorique la plus élevée du facteur de dimensionnement pour le régime transitoire (K_{td}). En conséquence, si un cycle de fonctionnement F-0 et un cycle de fonctionnement F-0-F-0 sont tous deux spécifiés, la valeur à retenir pour K_{td} est celle relative à celui de ces deux cycles de fonctionnement qui conduit à la valeur la plus élevée.

Quand le facteur de construction ne dépasse pas 1,1, le mode de conception peut ou non répondre aux critères caractérisant les transformateurs de courant à faible flux de fuites.

En toute rigueur, le facteur de construction rattache les caractéristiques d'excitation par l'enroulement secondaire uniquement au fonctionnement du transformateur de courant dans les conditions spécifiées.

7.4 Essais spéciaux destinés à vérifier qu'un transformateur de courant est du type à faible flux de fuites

Des essais directs destinés à vérifier qu'un transformateur de courant répond aux exigences de base caractérisant une conception du type à faible flux de fuites (voir 3.18) doivent être effectués pour un nombre de combinaisons entre valeur du courant appliqué, cycle de fonctionnement et charge, suffisamment grand pour permettre d'établir raisonnablement que l'écart maximal entre la force électromotrice secondaire équivalente théorique et la valeur mesurée ne dépasse pas 10 %.

NOTES

- 1 L'expérience acquise en ce qui concerne les essais ne permet pas de donner, à ce jour, une spécification précise des relations paramétriques et des limites pour toutes les classes.
- 2 Les essais indirects destinés à vérifier que la conception de l'appareil est du type à faible flux de fuites peuvent être faits en complément des essais directs aux limites spécifiées.
La valeur U_{al} est déterminée à partir des caractéristiques d'excitation par l'enroulement secondaire à une valeur telle qu'un accroissement de 10 % en valeur efficace entraîne un accroissement de la valeur de crête du courant d'excitation secondaire qui ne soit pas inférieur à 50 % et supérieur à 100 %.

7.3.3 Determination of factor of construction (F_c)

The method for the determination of the factor of construction is given in annex D.

The factor of construction, obtained from the ratio U_{alc}/E_{alc} , is valid for the current transformer performance at rated conditions and at the highest theoretical value of the transient dimensioning factor (K_{td}). That is, if both C-0 and C-0-C-0 duty cycles are specified, K_{td} will be determined from whichever duty cycle yields the higher value.

When the factor of construction does not exceed 1,1, the design may or may not satisfy the criteria for a low leakage flux design.

Strictly, the factor of construction relates the secondary excitation characteristics to the current transformer performance under specified conditions only.

7.4 Special tests to verify a low leakage flux design

Direct tests to verify that a current transformer will satisfy the basic requirements of a low leakage flux design (see 3.18) shall be made at a sufficiently large number of energizing current, duty cycle and burden combinations as can reasonably establish that the deviation between the theoretical equivalent secondary e.m.f. and the measured value does not exceed 10 %.

NOTES

1 Available test experience does not permit precise specification of parametric relationships and limits for all classes at this time.

2 Indirect tests to verify that the design is of the low leakage flux type may be made in addition to direct tests at specified limits.

The value U_{al} is determined from the secondary excitation characteristics at a value such that a 10 % increase in r.m.s. value results in an increase in the peak value of the secondary excitation current of not less than 50 % and not more than 100 %.

Annexe A

Equations théoriques fondamentales relatives au dimensionnement pour le régime transitoire

A.1 Courant de court-circuit

L'expression générale de la valeur instantanée d'un courant de court-circuit ayant une composante symétrique (I_{psc}) peut s'écrire:

$$i(t) = \sqrt{2} I_{psc} [e^{-t/T_p} \cos \theta - \cos (\omega t + \theta)] \quad (A1)$$

Le courant est pleinement asymétrique lorsque $\theta = 0$ et

$$i(t) = \sqrt{2} I_{psc} (e^{-t/T_p} - \cos \omega t) \quad (A2)$$

A.2 Facteur de dimensionnement pour le régime transitoire

Le facteur de régime transitoire pour un courant de court-circuit pleinement asymétrique [équation (A2)] après t secondes est donné par:

$$K_{tf} = [\omega T_p T_s / (T_p - T_s)] (e^{-t/T_p} - e^{-t/T_s}) - \sin \omega t \quad (A3)$$

Dans le calcul du facteur de régime transitoire appliqué à la détermination du dimensionnement, l'équation (A3) est simplifiée en écrivant $\sin \omega t = -1$. K_{tf} aura alors une valeur maximale au temps $t = t_{max}$. La valeur de t_{max} est donnée par:

$$t_{max} = [T_p T_s / (T_p - T_s)] \ln (T_p / T_s) \quad (A4)$$

et la valeur correspondante de K_{tf} est:

$$K_{t_{fmax}} = \omega T_p (T_p / T_s)^{T_p / (T_s - T_p)} + 1 \quad (A5)$$

Pour le cycle de fonctionnement F-0 (voir 3.10), la valeur nécessaire du facteur de dimensionnement pour le régime transitoire est donnée par:

$$K_{td} = [\omega T_p T_s / (T_p - T_s)] (e^{-t_{al}/T_p} - e^{-t_{al}/T_s}) + 1 \quad (A6)$$

Pour le cycle de fonctionnement F-0-F-0 (voir 3.10), la valeur nécessaire du facteur de dimensionnement pour le régime transitoire est donnée par:

$$K_{td} = \left\{ [\omega T_p T_s / (T_p - T_s)] [e^{-t'/T_p} - e^{-t'/T_s}] - \sin \omega t' \right\} \cdot e^{-(t_r + t'_{al})/T_s} + [\omega T_p T_s / (T_p - T_s)] [e^{-t''_{al}/T_p} - e^{-t''_{al}/T_s}] + 1 \quad (A7)$$

Annex A

Basic theoretical equations for transient dimensioning

A.1 Short-circuit current

The general expression for the instantaneous value of a short-circuit current having a symmetrical component (I_{psc}) may be written:

$$i(t) = \sqrt{2} I_{psc} [e^{-t/T_p} \cos \theta - \cos(\omega t + \theta)] \quad (A1)$$

The current is fully offset when $\theta = 0$ and

$$i(t) = \sqrt{2} I_{psc} (e^{-t/T_p} - \cos \omega t) \quad (A2)$$

A.2 Transient dimensioning factor

The transient factor for a fully offset short-circuit current after t seconds [equation (A2)] is given by:

$$K_{tf} = [\omega T_p T_s / (T_p - T_s)] (e^{-t/T_p} - e^{-t/T_s}) - \sin \omega t \quad (A3)$$

When calculating the transient factor necessary for dimensioning purposes, equation (A3) is simplified by writing $\sin \omega t = -1$. K_{tf} will then have a maximum value at a time $t = t_{max}$. The value of t_{max} is given by:

$$t_{max} = [T_p T_s / (T_p - T_s)] \ln (T_p / T_s) \quad (A4)$$

and the corresponding value of K_{tf} is:

$$K_{tffmax} = \omega T_p (T_p / T_s)^{T_p / (T_s - T_p)} + 1 \quad (A5)$$

For the C-0 duty cycle (see 3.10), the necessary transient dimensioning factor is given by:

$$K_{td} = [\omega T_p T_s / (T_p - T_s)] (e^{-t_{al}/T_p} - e^{-t_{al}/T_s}) + 1 \quad (A6)$$

For the C-0-C-0 duty cycle (see 3.10), the necessary transient dimensioning factor is given by:

$$K_{td} = \left\{ [\omega T_p T_s / (T_p - T_s)] [e^{-t'/T_p} - e^{-t'_{al}/T_s}] - \sin \omega t' \right\} \cdot e^{-(t_r + t'_{al})/T_s} + [\omega T_p T_s / (T_p - T_s)] [e^{-t''_{al}/T_p} - e^{-t''_{al}/T_s}] + 1 \quad (A7)$$

Annexe B

Détermination de la caractéristique d'excitation

B.1 Généralités

Lorsqu'un transformateur de courant est parcouru par un courant de court-circuit pleinement asymétrique, la composante unidirectionnelle du courant fait apparaître dans le circuit magnétique une onde de flux d'amplitude importante et de durée relativement longue. On peut donc estimer que ce sont les essais indirects qui développent un flux unidirectionnel dans le circuit magnétique du transformateur qui sont les plus représentatifs.

Pour les transformateurs de courant des classes TPS et 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 tellement faible qu'il peut être négligé.

La démagnétisation exige des moyens supplémentaires permettant d'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 réglée manuellement ou automatiquement sera normalement prévue lorsque la méthode d'essai en courant continu sera utilisée.

La mesure de la caractéristique d'excitation du circuit magnétique implique d'établir la relation entre le flux embrassé par l'enroulement secondaire et le courant d'excitation.

Si une tension arbitraire $U(t)$ est appliquée aux bornes secondaires (voir figure B1) le flux du circuit magnétique $\Phi(t)$ embrassé par l'enroulement secondaire au temps t est lié à cette tension par l'équation:

$$\Phi(t) = \int_0^t (U - R_{ct} i_m) dt \quad (\text{Wb}) \quad (\text{B1})$$

Les méthodes décrites dans ce qui suit sont fondées sur cette relation.

L'effet de la chute de tension à travers la résistance de l'enroulement secondaire doit être estimé. Si cette chute dépasse 2 %, elle doit être déduite de la valeur de tension mesurée.

B.2 Méthode en courant alternatif

Une tension alternative pratiquement sinusoïdale est appliquée aux bornes secondaires et la valeur correspondante du courant d'excitation est mesurée. L'essai peut être effectué à fréquence réduite 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.

Annex B

Determination of core magnetization characteristic

B.1 General

When a current transformer is energized by a fully offset asymmetrical short-circuit current, a large flux wave of relatively long duration is caused in the core by the unidirectional component. Indirect tests which subject the transformer core to a unidirectional flux will accordingly be deemed to be the more realistic.

For TPS and TPX current transformers it is necessary to demagnetize the core before each test, because of the high remanence factor. For TPY current transformers the remanent flux is often so low that it can be neglected.

Demagnetization requires additional means by which the core can be subjected to slowly decreasing hysteresis loops starting from saturation. A direct current manually or automatically regulated source will normally be provided when the d.c. test method has to be used.

Measuring the core magnetization characteristic implies establishing the relationship between the core secondary linking flux and magnetizing current.

If an arbitrary voltage $U(t)$ is applied to the secondary terminals (see figure B1) the core flux $\Phi(t)$ linked through the secondary winding at time t is related to this voltage through the equation:

$$\Phi(t) = \int_0^t (U - R_{ct} i_m) dt \quad (\text{Wb}) \quad (\text{B1})$$

The methods described in the following clauses take advantage of this relationship.

The effect of the voltage drop across the secondary winding resistance shall be estimated. If it exceeds 2 %, this drop shall be deducted from the voltage value measured.

B.2 A.C. method

A substantially sinusoidal a.c. voltage is applied to the secondary terminals and the corresponding value of magnetizing current is measured. The test may be performed at reduced frequency to avoid unacceptable voltage stressing of the winding and secondary terminals. Effects of undue eddy current losses in the core and capacitive currents between the winding layers will be less likely to cause false readings at lower frequencies.

Le courant d'excitation doit être mesuré avec un appareil indiquant la valeur de crête afin que le résultat soit homogène avec la valeur de crête du flux.

La tension d'excitation est mesurée avec un appareil dont la réponse est proportionnelle à la valeur moyenne, mais gradué en valeur efficace.

La valeur du flux Φ embrassé par l'enroulement secondaire peut être obtenue à partir de la valeur efficace mesurée de la tension appliquée U' à la fréquence f' comme suit:

$$\Phi = \frac{\sqrt{2}}{2\pi f'} \cdot U' \quad (\text{Wb}) \quad (\text{B2})$$

et la valeur efficace U de la tension équivalente à la fréquence assignée f est donnée par:

$$U = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} \cdot \Phi \quad (\text{V, valeur efficace}) \quad (\text{B3})$$

Les résultats des mesures sont présentés sous la forme d'une courbe exprimant la relation cherchée entre la valeur de crête du courant d'excitation i_m et la valeur de crête du flux Φ traduite en valeur efficace U de la tension d'excitation correspondante de la fréquence assignée.

L'inductance magnétisante est donnée par la pente moyenne de la courbe précitée, estimée entre 20 % et 90 % du flux de saturation Φ_s :

$$L_m = \frac{\Phi_s}{i_m} = \frac{\sqrt{2} U}{2\pi f i_m} \quad (\text{H}) \quad (\text{B4})$$

Lorsque l'inductance de fuites du secondaire est négligeable, la constante de temps de la boucle secondaire T_s pour la charge résistive totale ($R_{ct} + R_b$) peut être calculée comme suit:

$$T_s = \frac{L_s}{R_s} \approx \frac{L_m}{R_{ct} + R_b} \quad (\text{s}) \quad (\text{B5})$$

Lorsque le facteur de rémanence (K_r) est déterminé par la méthode d'essai en courant alternatif, il est nécessaire d'effectuer l'intégration de la tension d'excitation ainsi que le montre la figure B2. La tension intégrée associée au courant correspondant tracera sur l'oscilloscope en X-Y un cycle d'hystérésis. Si le courant d'excitation est tel que le flux de saturation Φ_s est atteint, la valeur du flux au passage à zéro du courant est supposée représenter le flux rémanent Φ_r . Le facteur de rémanence K_r est alors calculé selon sa définition comme étant égal au rapport $\Phi_r / \Phi_s = \Psi_r / \Psi_s$.

The exciting current shall be measured with a peak reading instrument in order that the result will align with the peak flux value.

The exciting voltage is measured with an instrument whose response is proportional to the average value, but calibrated r.m.s.

The secondary linked flux value Φ may be derived from the measured r.m.s. value of the applied voltage U at the frequency f as follows:

$$\Phi = \frac{\sqrt{2}}{2\pi f} \cdot U \quad (\text{Wb}) \quad (\text{B2})$$

and the r.m.s. equivalent voltage U at rated frequency f is given by:

$$U = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} \cdot \Phi \quad (\text{V, r.m.s.}) \quad (\text{B3})$$

The result is shown as a curve giving the required relationship between the peak value of the magnetizing current i_m and the peak value of the flux Φ through its equivalent r.m.s. voltage U at rated frequency.

The magnetizing inductance is given by the mean slope of the above curve estimated in the range between 20 % and 90 % of the saturation flux Φ_s :

$$L_m = \frac{\Phi_s}{i_m} = \frac{\sqrt{2} U}{2\pi f i_m} \quad (\text{H}) \quad (\text{B4})$$

When the leakage inductance of the secondary is negligible, the secondary circuit time constant T_s for the resistive total burden ($R_{ct} + R_b$) may be calculated as follows:

$$T_s = \frac{L_s}{R_s} \approx \frac{L_m}{R_{ct} + R_b} \quad (\text{s}) \quad (\text{B5})$$

In determining the remanence factor K_r by the a.c. test method, it is necessary to integrate the exciting voltage as shown in figure B2. The integrated voltage with the corresponding current will display a hysteresis loop on an X-Y oscilloscope. If the exciting current has been such that the saturation flux Φ_s is reached, the flux value at zero crossing of current is deemed to represent the remanent flux Φ_r . The remanence factor K_r is then calculated as the ratio $\Phi_r / \Phi_s = \Psi_r / \Psi_s$ according to definition.

B.3 Méthode en courant continu

La méthode de la saturation en courant continu consiste à appliquer une tension continue pendant une durée telle que la même valeur de flux soit atteinte. La faible vitesse de croissance du courant d'excitation oblige à tenir compte de la chute de tension à travers la résistance de l'enroulement. La mesure du flux est déduite de celle de l'intégrale de la somme de la tension aux bornes de l'enroulement excité et d'une tension additionnelle correspondant à $R_{ct} i_m$. Un circuit d'essai type est représenté à la figure B3.

Si un enroulement supplémentaire indépendant est disponible sur le même circuit magnétique, ou si l'enroulement secondaire est prévu avec des prises sur lesquelles l'essai peut être fait, la tension induite aux bornes de l'enroulement libre peut être utilisée directement pour en déduire la valeur du flux par intégration pourvu que le rapport des nombres respectifs de spires soit connu et que les parties d'enroulements excitée et libre soient toutes deux uniformément réparties le long de la ligne de force moyenne du circuit magnétique. En complément à la détermination de la valeur du flux, le rapport des nombres respectifs de spires peut être utilisé pour la détermination des valeurs du courant d'excitation lorsque les exigences de précision en régime transitoire s'appliquent à une prise autre que celle alimentée. La figure B5 montre un circuit d'essai type.

Afin que les valeurs limites exigées du courant d'excitation soient atteintes dans un temps raisonnable, la valeur maximale (I_m) du courant d'excitation doit être plus élevée que celle fixée. Par exemple, I_m peut être égal à deux fois la valeur limite du courant d'erreur transitoire pour toutes les classes, excepté pour la classe TPS. Pour la classe TPS, I_m peut être égal à cinq fois la valeur du courant d'excitation à E_{al} . Des valeurs encore plus élevées de I_m peuvent être nécessaires pour atteindre la saturation du circuit magnétique en vue de la détermination du facteur de rémanence (K_r).

La tension de la batterie choisie doit être légèrement plus élevée que le produit $R_{ct} I_m$ pour permettre d'ajuster le courant au moyen de la résistance de limitation R_1 comme représenté.

La résistance de décharge R_d doit être connectée, sinon l'inductance du circuit peut causer des surtensions très élevées à l'ouverture de l'interrupteur S, au moment où le courant inductif se trouve interrompu.

Si la valeur de la résistance R_d est choisie de telle sorte que la somme $R_d + R_{sh}$ soit égale à R_b , la constante de temps de la boucle du circuit de décharge sera presque la même que la constante de temps assignée (T_s) de la boucle secondaire et le régime de décharge du circuit secondaire pourra être enregistré à l'ouverture de S. Cependant, cette valeur peut conduire en pratique à des courants trop élevés et il peut alors être nécessaire de choisir une valeur plus élevée pour la résistance R_d .

Quelque temps après que l'interrupteur S a été fermé le courant d'excitation i_m est supposé avoir atteint sa valeur maximale (I_m) pour laquelle le flux dans le circuit magnétique demeure constant. Si le circuit de la figure B3 n'était pas utilisé, la chute de tension non compensée $R_{ct} i_m$ entraînerait une dérive injustifiée de l'intégrateur et le résultat en serait un accroissement permanent erroné du flux en fonction du temps. La compensation est faite en ajustant le gain de l'amplificateur connecté au shunt, et l'équilibre est obtenu lorsque la valeur du flux indiquée est stable une fois que le courant i_m est égal à I_m et demeure constant.

B.3 D.C. method

The d.c. saturation method uses a d.c. voltage of such duration that the same value of flux is reached. The slow increase of magnetizing current implies accounting for the voltage drop across the winding resistance. The flux measurement is derived from the integral of the voltage across the terminals of the energized winding plus an additional voltage corresponding to $R_{ct}i_m$. A typical test circuit is shown in figure B3.

If an additional independent winding is available on the same core, or if the secondary winding is provided with taps on which the test might be made, the induced voltage on free winding may be used directly to derive the flux value by integration, provided that the respective turns ratio is known and that both energized and free winding portions are uniformly distributed along the mean path of the core. In addition to assessment of flux value, respective turns ratio may be used in assessing measured magnetizing current values when transient performance requirements are for other than the energized tap. Figure B5 illustrates a typical test circuit.

In order that the limiting values of exciting current required will be reached in reasonable time, the maximum energizing current value (I_m) shall be higher than required. For example, I_m may be two times the transient error current limiting value for all classes except TPS. For class TPS, I_m may be five times the exciting current at E_{al} . Even higher values of I_m may be necessary to reach core saturation in determining the remanence factor (K_r).

The voltage of the chosen battery shall be slightly higher than the product $R_{ct}I_m$ to provide current adjustment through the limiting resistor R_1 as shown.

The discharge resistor R_d shall be connected, as otherwise the core inductance may cause very high overvoltages when switch S is opened and the inductive current interrupted.

If the resistance value of R_d is so chosen that the sum of $R_d + R_{sh}$ is equal to R_b , the discharging circuit loop time constant will be about the same as the rated secondary circuit time constant (T_s), and the secondary circuit discharge behaviour could be recorded at the opening of S. However, this value may give in practice too high currents, and R_d may then need to be chosen with a higher resistance value.

Some time after the switch S has been closed, the exciting current i_m will be deemed to have reached its maximum value (I_m) at which the core flux would remain constant. If the circuit of figure B3 is not used, the uncompensated voltage drop $R_{ct}i_m$ would give an undue increment to the integrator, and the result would be a false continuous rise of flux during time. Compensation is made by adjusting the gain of the amplifier connected to the shunt, and balancing is obtained when the flux value indicated is stationary when $i_m = I_m$ and remains constant.

Tous les composants électroniques des circuits d'intégration doivent être groupés à l'intérieur d'un appareil spécifique pour les mesures de flux avec compensation de l'effet de la résistance, susceptible d'être étalonné avec une précision appropriée.

NOTE - La valeur indiquée résultant de l'intégration d'une tension connue U pendant une durée de 15 s ne devrait pas différer de 15 U volt-secondes de plus de $\pm 3\%$.

Pour déterminer la caractéristique d'excitation, l'interrupteur S doit être fermé immédiatement après la remise à zéro de l'intégrateur. Les valeurs croissantes du courant d'excitation et du flux doivent être enregistrées jusqu'au moment où ces valeurs deviennent constantes, puis l'interrupteur S est ouvert.

Des enregistrements types de la valeur du flux $\Phi(t)$ et du courant d'excitation $i_m(t)$ en fonction du temps t sont représentés à la figure B4, où les valeurs de flux peuvent être données en weber ou traduites en valeurs efficaces de la tension équivalente $U(t)$ à la fréquence assignée f en accord avec l'équation (B3).

L'inductance magnétisante (L_m) peut être déduite à partir de points convenables pris sur les courbes de magnétisation en divisant $\Phi(t)$ par $i_m(t)$ correspondant, ou en utilisant l'équation (4) lorsque les valeurs de flux sont traduites en valeurs efficaces de la tension équivalente $U(t)$.

Comme les transformateurs de courant des classes TPS et TPX exigent une estimation de la pente moyenne de la caractéristique combinée $\Phi(i_m)$, l'utilisation d'un enregistreur en X-Y est recommandée.

La constante de temps (T_s) de la boucle secondaire est ensuite calculée en utilisant l'équation (B5).

A l'ouverture de l'interrupteur S, le courant décroissant d'excitation parcourt 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. A partir d'un courant d'excitation I_m convenablement choisi pour parvenir au flux de saturation Φ_s , la valeur de flux subsistant une fois que le courant s'est annulé doit être considérée comme étant égale au flux rémanent Φ_r .

Pour les transformateurs de courant des classes TPS et TPX, dont le circuit magnétique a été obligatoirement démagnétisé au préalable, et pour les transformateurs de courant TPY qui ont été démagnétisés, le facteur de rémanence (K_r) est déterminé à partir du rapport Φ_r / Φ_s .

Pour les transformateurs de courant de classe TPY dont le circuit magnétique n'a pas été démagnétisé au préalable, le facteur de rémanence (K_r) peut être déterminé à partir d'un essai complémentaire pour lequel les bornes secondaires ont été permutées. Dans ce cas le facteur de rémanence K_r peut être calculé comme ci-dessus, à condition de prendre pour Φ_r la moitié de la valeur de flux rémanent mesurée dans le deuxième essai.

B.4 Variante de la méthode en courant continu

Pour les transformateurs de courant de classe TPY, la simplification suivante de la méthode de base en courant continu décrite en B.3 peut être utilisée sous réserve que l'on sache que l'inductance magnétisante (L_m) a une valeur constante jusqu'au courant de saturation et que l'on ait prouvé que la batterie utilisée a une f.é.m. constante jusqu'à cette valeur de courant. Le circuit d'essai est représenté à la figure B6.

All electronic components of the integrating circuits shall be assembled into a specific apparatus for resistance compensated flux measurements, capable of being calibrated to an appropriate accuracy.

NOTE - The indicated voltage integral of a known voltage U during a period of 15 s should not differ from 15 U voltseconds, by more than $\pm 3\%$.

In determining the excitation characteristic, the switch S shall be closed immediately after the resetting of integrator has been made. The rising values of the magnetizing current and of the flux shall be recorded up to the time at which the values become constant, then the switch S will be opened.

Typical test records of the flux value $\Phi(t)$ and of the magnetizing current $i_m(t)$ as a function of time t are shown in figure B4, where the flux values may be given in weber or through the equivalent r.m.s. voltage $U(t)$ at rated frequency f , in accordance with equation (B3).

The magnetizing inductance (L_m) may be deduced from suitable points on the magnetizing curves dividing $\Phi(t)$ by the corresponding $i_m(t)$, or using equation (B4) when the flux values are given through the equivalent r.m.s. voltage $U(t)$.

As TPS and TPX current transformers require the estimation of the mean slope of the combined $\Phi(i_m)$ characteristic, the use of an X-Y recorder is recommended.

The secondary circuit time constant (T_s) is then calculated using equation (B5).

At the opening of switch S, a decreasing magnetization current flows through the secondary winding and the discharging resistor R_d . The corresponding flux value decreases, but may not fall to zero at zero current. When a suitable exciting current I_m has been chosen to achieve the saturation flux Φ_s , the remaining flux value at the zero current shall be deemed to be the remanent flux Φ_r .

For TPS and TPX current transformers whose core has been mandatorily demagnetized before, and for demagnetized TPY current transformers the remanence factor K_r is determined from the ratio Φ_r/Φ_s .

For a TPY current transformer whose core has not been demagnetized before, the remanence factor (K_r) may be determined by an additional test in which the secondary terminals have been interchanged. In this case, the remanence factor K_r may be calculated as above, but assuming for Φ_r the halved value of the remanent flux measured in the second test.

B.4 Alternative d.c. method

For TPY current transformers, the following simplification of the basic d.c. method described in B.3 may be used, provided that the magnetizing inductance (L_m) is known to have a constant value up to the saturation current, and that the battery used has been shown to have a constant e.m.f. up to that current value. The test circuit is shown in figure B6.

Pour déterminer la caractéristique d'excitation, on ferme l'interrupteur S et l'on enregistre la valeur croissante du courant d'excitation jusqu'à ce que l'on puisse considérer que la valeur i_m est devenue constante et égale à I_m (voir figure B7).

Si la f.é.m. de la batterie reste constante, le courant croît exponentiellement jusqu'à la saturation à un taux qui est imposé par la constante de temps T et par la valeur asymptotique I_m .

A partir de l'enregistrement, la constante de temps T est évaluée en tenant compte de ce que le temps nécessaire pour atteindre un courant de valeur $0,393 \cdot I_m$ est égal à $T/2$. La résistance équivalente totale (R_{eq}) du circuit est obtenue en divisant la f.é.m. (E) de la batterie par I_m .

L'inductance magnétisante est alors calculée comme suit:

$$L_m = T \cdot R_{eq} = T \cdot \frac{E}{I_m} \quad (\text{H}) \quad (\text{B6})$$

Le flux embrassé par l'enroulement secondaire à i_m donné dans la zone non saturée est alors:

$$\Phi = L_m i_m \quad (\text{Wb}) \quad (\text{B7})$$

La valeur efficace de la tension limite équivalente à la fréquence assignée lorsque $i_m \leq i_{al}$ peut être obtenue en utilisant l'équation (B3).

B.5 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 à partir du secondaire. Le condensateur est chargé avec une tension suffisamment élevée pour produire une tension telle que la valeur de l'intégrale tension-temps aux bornes du transformateur de courant soit égale ou supérieure à la valeur de celle-ci correspondant à la tension secondaire limite d'excitation équivalente assignée (U_{al}) (voir 3.21).

La valeur de crête du courant d'excitation par le secondaire i_m doit être mesurée et ne doit pas dépasser le courant d'excitation secondaire limite de précision (I_{al}) (voir 3.28). Le circuit d'essai est représenté à la figure B8.

La valeur du condensateur doit être choisie de manière telle qu'il ne soit pas nécessaire de tenir compte de la chute de tension dans la résistance de l'enroulement secondaire. Cette condition sera satisfaite si l'intégrale tension-temps de $R_{ct} \cdot i_m$ pendant l'intervalle de temps t_D ne dépasse pas 2 % du total, d'où, en l'absence de saturation:

$$t_D \leq 0,02 \pi \frac{L_s}{R_{ct}} \approx 0,06 T_s \frac{R_{ct} + R_b}{R_{ct}} \quad (\text{s}) \quad (\text{B8})$$

Des exemples d'enregistrement sont représentés à la figure B9.

To determine the excitation characteristic, the switch S is closed and the rising value of the magnetizing current recorded up to a time at which the value i_m is deemed to have become constant and equal to I_m (see figure B7).

If the battery e.m.f. has been constant, the current rises up to saturation exponentially at a rate governed by the time constant T and by the asymptotical value I_m .

From the record, the time constant T is evaluated taking into account that the time to reach a current value of $0,393 \cdot I_m$ is equal to $T/2$. The total equivalent resistance (R_{eq}) of the circuit is derived from the battery e.m.f. (E) divided by I_m .

The magnetizing inductance is then calculated as:

$$L_m = T \cdot R_{eq} = T \cdot \frac{E}{I_m} \quad (\text{H}) \quad (\text{B6})$$

The flux linked through the secondary winding at given i_m in the non-saturated zone is then:

$$\Phi = L_m i_m \quad (\text{Wb}) \quad (\text{B7})$$

The equivalent limiting r.m.s. voltage at rated frequency when $i_m \leq i_{al}$ may be obtained using equation (B3).

B.5 Capacitor discharge method

The capacitor discharge method uses the charge of a capacitor for energizing the current transformer core from the secondary. The capacitor is charged with a voltage sufficiently high so as to produce a voltage with a voltage-time integral, at the current transformer terminals equal to or greater than that corresponding to the required rated equivalent excitation secondary limiting voltage (U_{al}) (see 3.21).

The peak value of the secondary exciting current i_m shall be measured and shall not exceed the secondary accuracy limiting exciting current (I_{al}) (see 3.28). The test-circuit is shown in figure B8.

The value of the capacitor shall be chosen in such a way that the voltage drop on the secondary winding resistance need not be taken into account. This will be fulfilled if the voltage integral of $R_{ct} \cdot i_m$ during time interval t_D does not exceed 2 % of the total and thus with no saturation:

$$t_D \leq 0,02 \pi \frac{L_s}{R_{ct}} \approx 0,06 T_s \frac{R_{ct} + R_b}{R_{ct}} \quad (\text{s}) \quad (\text{B8})$$

Typical records are shown in figure B9.

La constante de temps secondaire (T_s) doit être déterminée en appliquant aux bornes secondaires du transformateur de courant une tension dont l'intégrale tension-temps est égale à 90 % de celle assignée. Le courant d'excitation correspondant i'_m est mesuré et la constante de temps secondaire calculée comme suit:

$$T_s = \frac{\sqrt{2} \times 0,9 U_{al}}{2 \pi f (R_{ct} + R_b) i'_m} \quad (\text{s}) \quad (\text{B9})$$

Afin de déterminer le facteur de rémanence (K_r), on fait apparaître sur un oscilloscope en X-Y, à partir de la tension intégrée et du courant correspondant, un cycle d'hystérésis.

Si le courant d'excitation est tel que le flux de saturation est atteint, la valeur du flux au passage du courant par zéro est considérée représenter le flux rémanent Φ_r . Le facteur de rémanence K_r est alors obtenu en calculant le rapport Φ_r / Φ_s .

The secondary time constant (T_s) shall be determined by applying a voltage with a voltage-time integral of 90 % of the rated excitation limiting secondary voltage to the secondary terminals of the CT. The corresponding excitation current i'_m is measured and the secondary time constant calculated as follows:

$$T_s = \frac{\sqrt{2} \times 0,9 U_{al}}{2 \pi f (R_{ct} + R_b) i'_m} \quad (\text{s}) \quad (\text{B9})$$

In determining the remanence factor (K_r) the integrated voltage with the corresponding current will determine a hysteresis loop on an X-Y oscilloscope.

If the exciting current has been such that the saturation flux is reached, the flux value at zero crossing of the current is deemed to represent the remanent flux Φ_r . The remanence factor K_r is thus obtained from the ratio Φ_r / Φ_s .

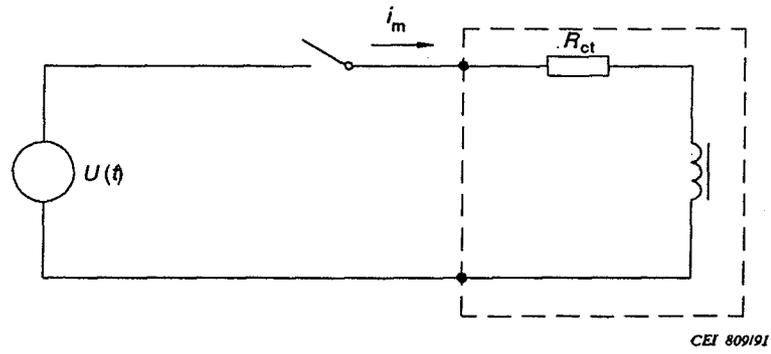


Figure B1 - Circuit de base

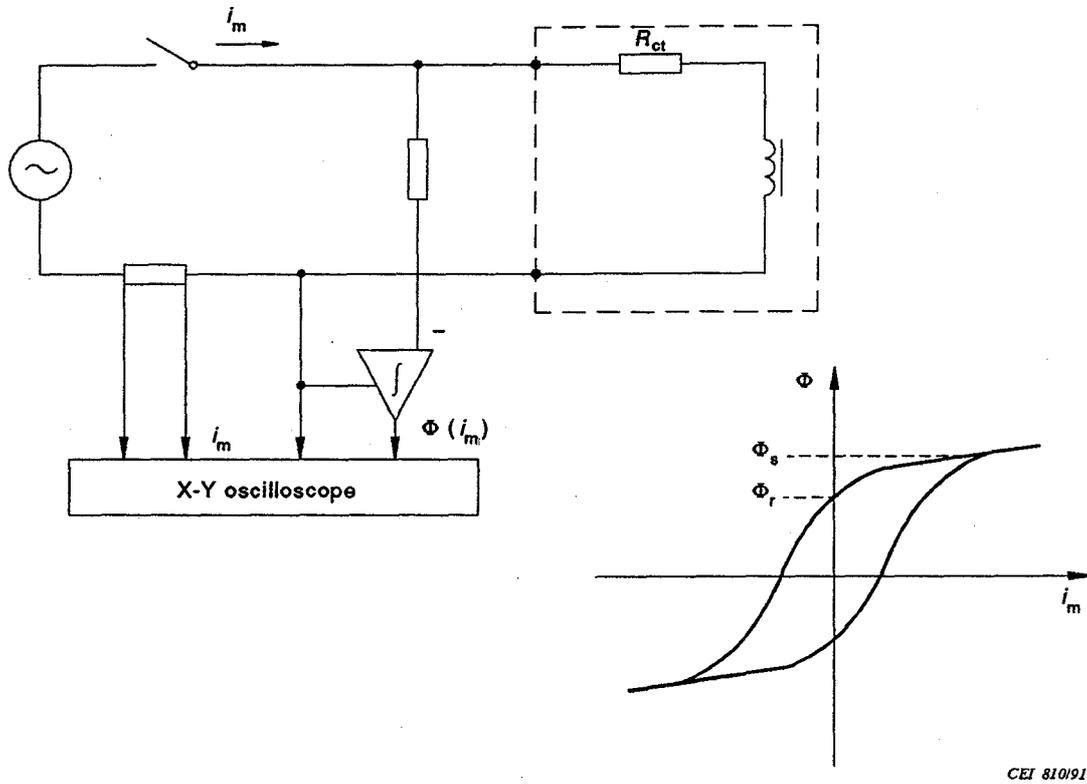


Figure B2 - Détermination du facteur de rémanence K_r par le cycle d'hystérésis

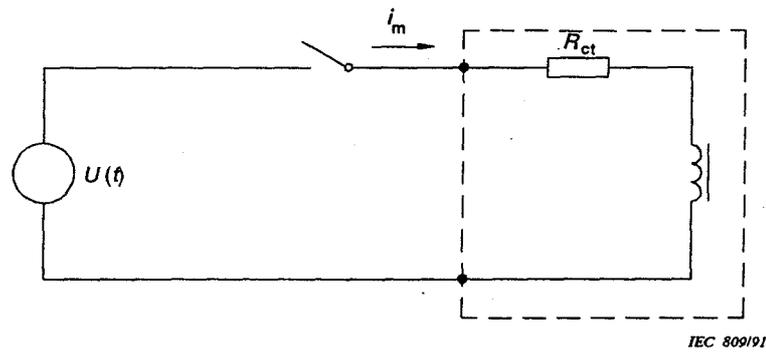


Figure B1 - Basic circuit

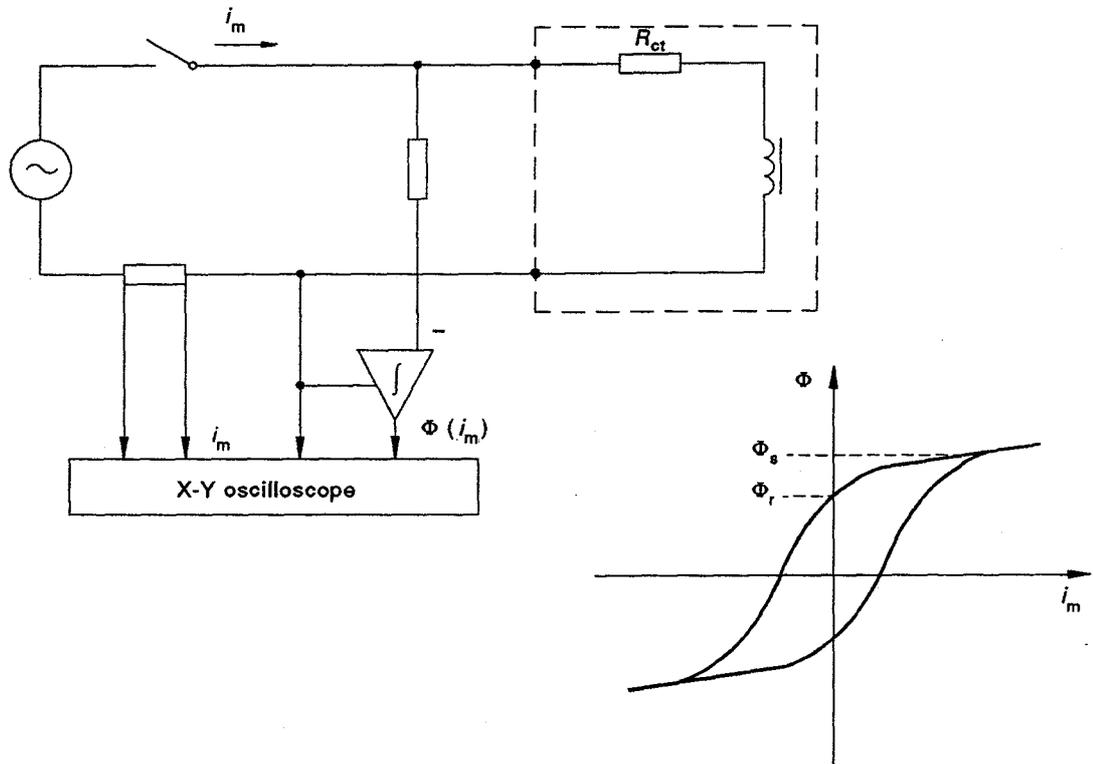
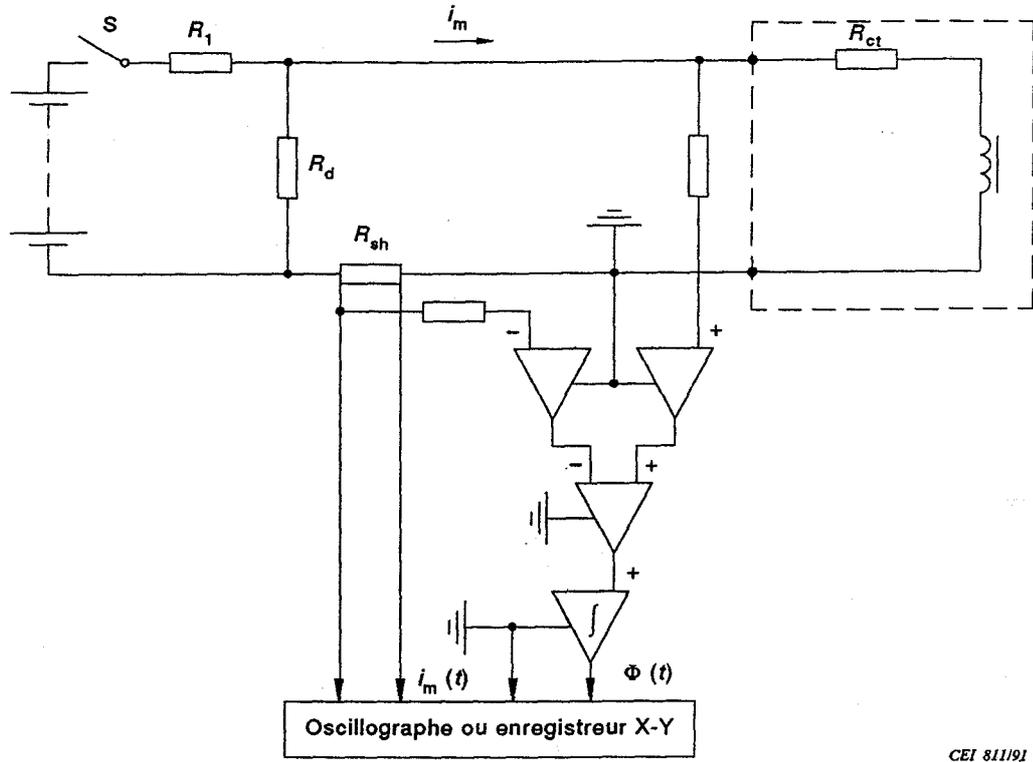
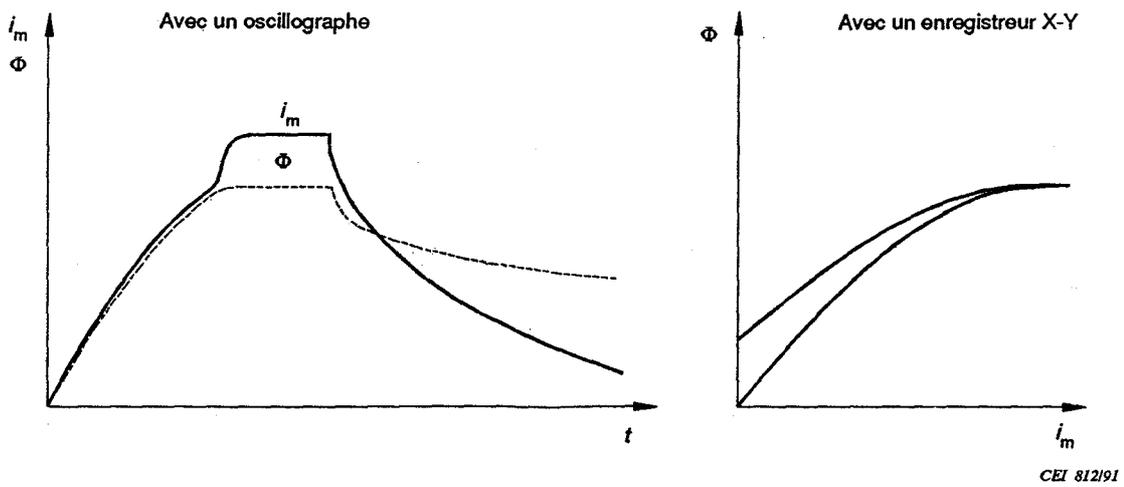


Figure B2 - Determination of remanence factor K_r by hysteresis loop



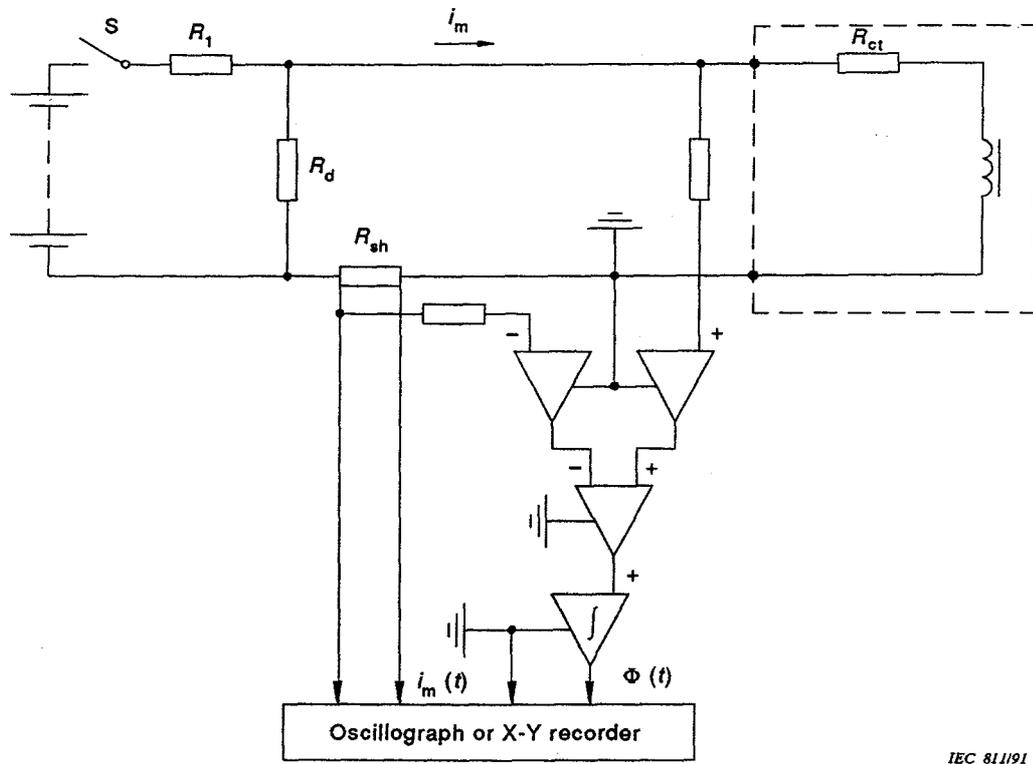
CEI 811/91

Figure B3 - Circuit de base de la méthode en courant continu



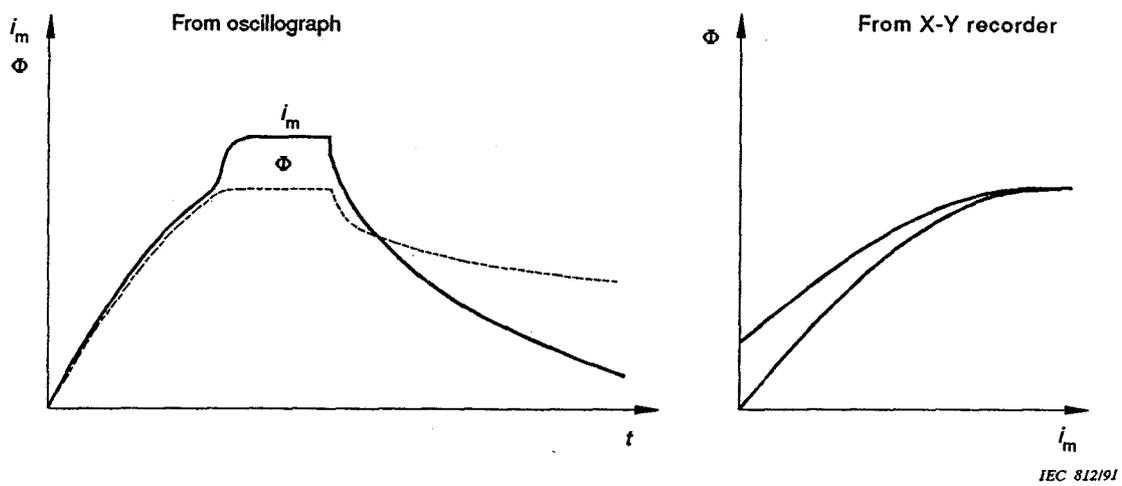
CEI 812/91

Figure B4 - Exemples d'enregistrements



IEC 811/91

Figure B3 - Basic circuit for d.c. method



IEC 812/91

Figure B4 - Typical records

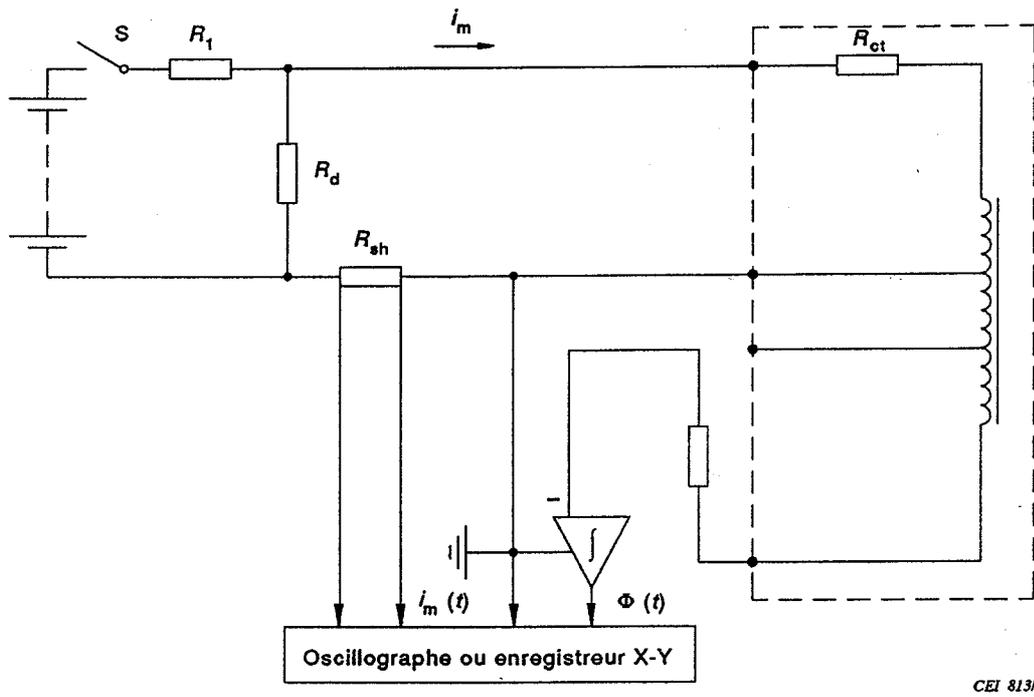


Figure B5 - Mesure du flux avec un enroulement supplémentaire

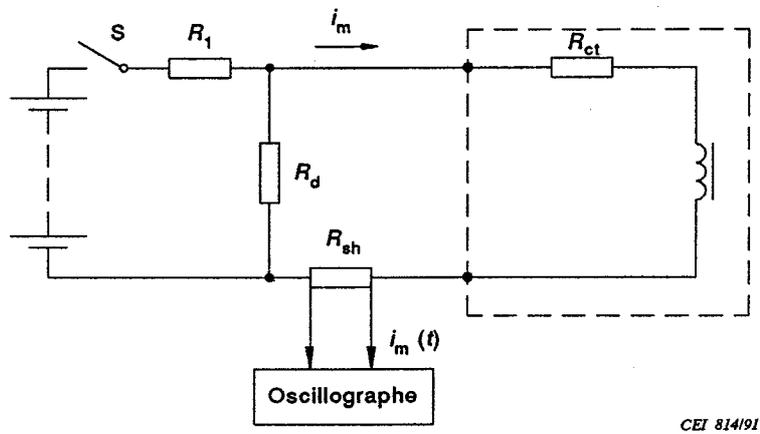


Figure B6 - Circuit de la variante de la méthode en courant continu

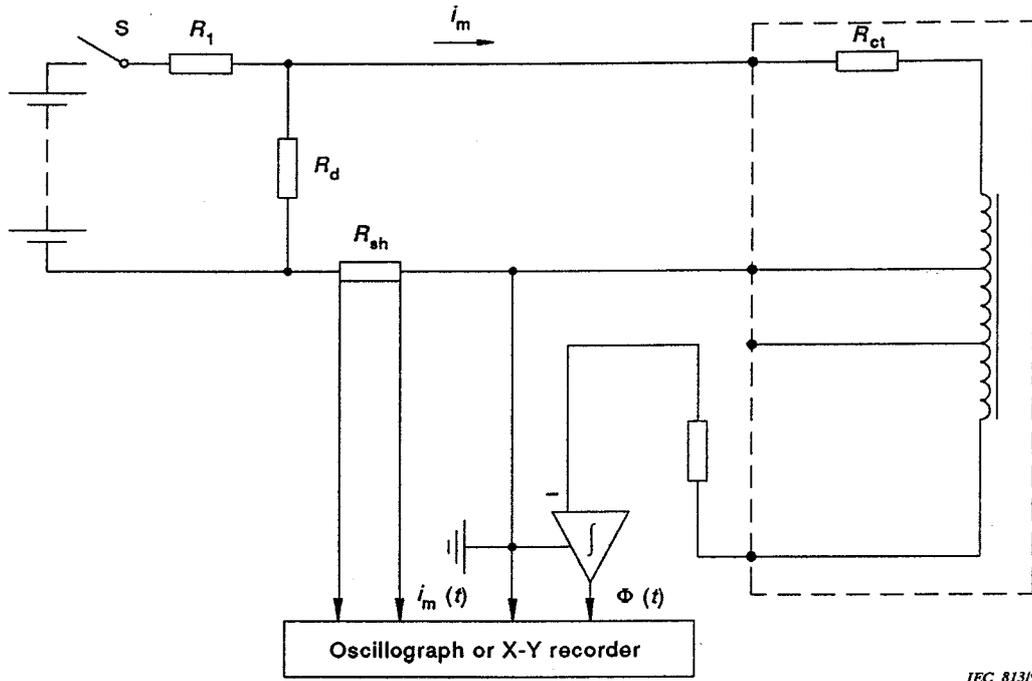


Figure B5 - Flux measurement by additional winding

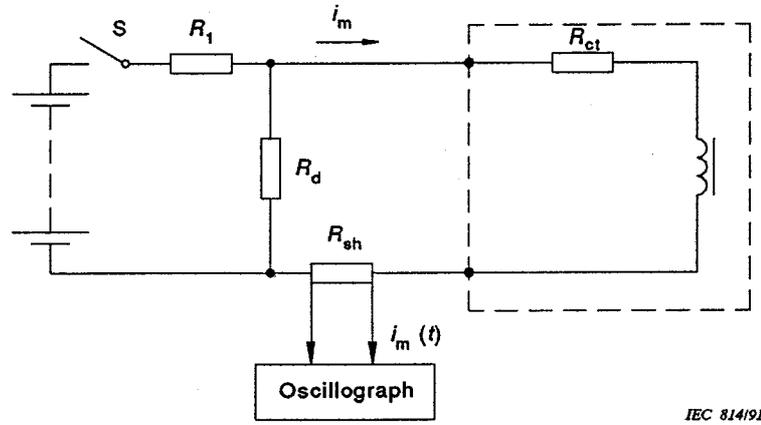


Figure B6 - Circuit for alternative d.c. method

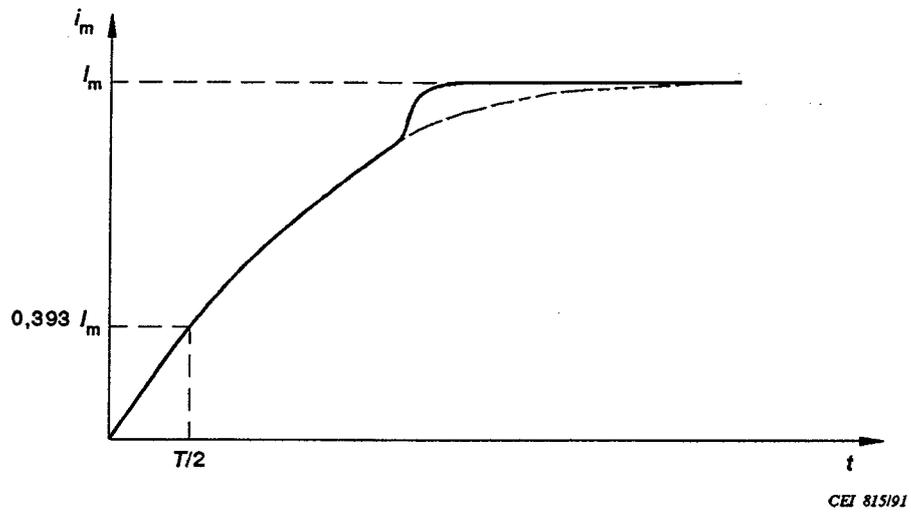


Figure B7 - Exemple d'enregistrement suivant la variante de la méthode en courant continu

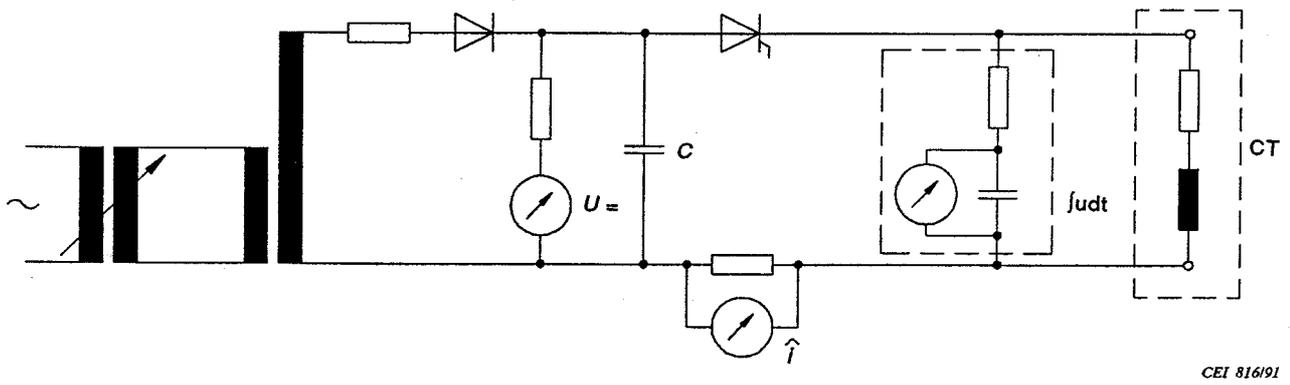


Figure B8 - Circuit de la méthode par décharge d'un condensateur

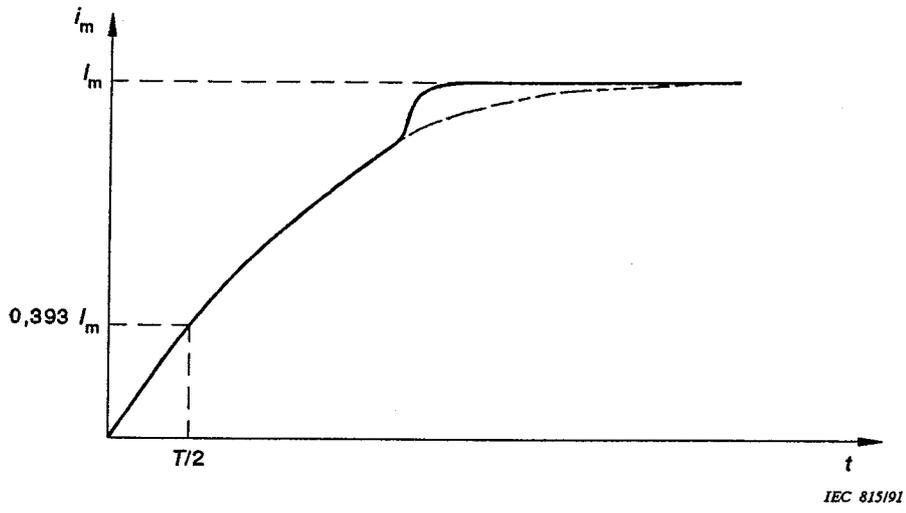


Figure B7 - Typical record by alternative d.c. method

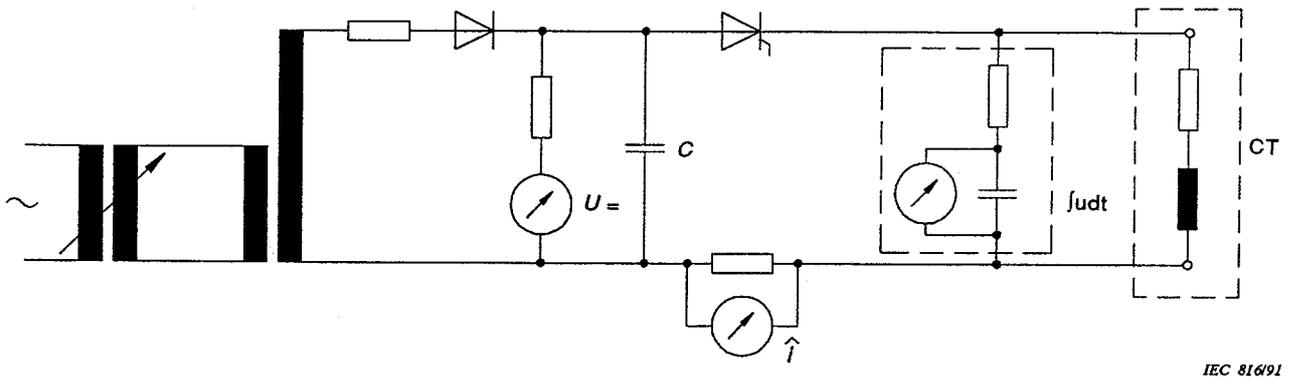


Figure B8 - Circuit for capacitor discharge method

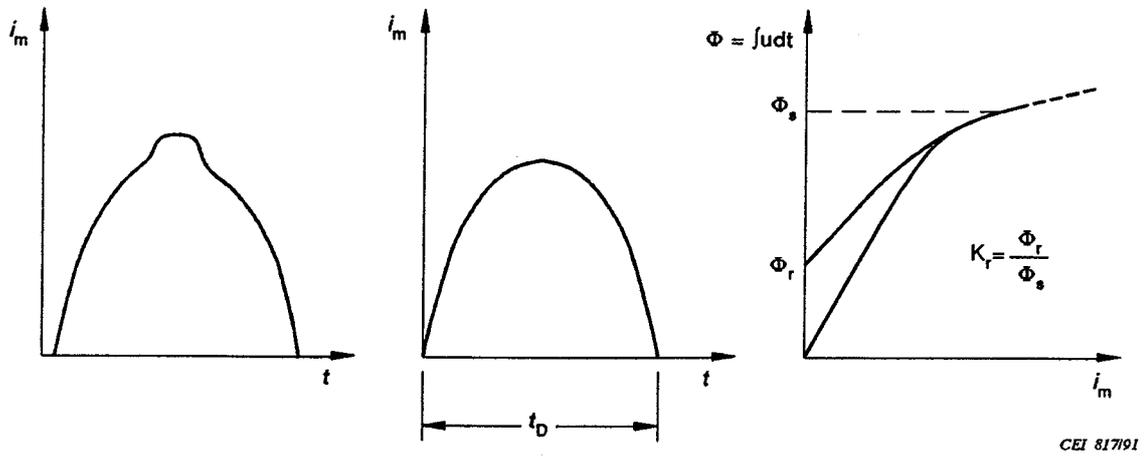
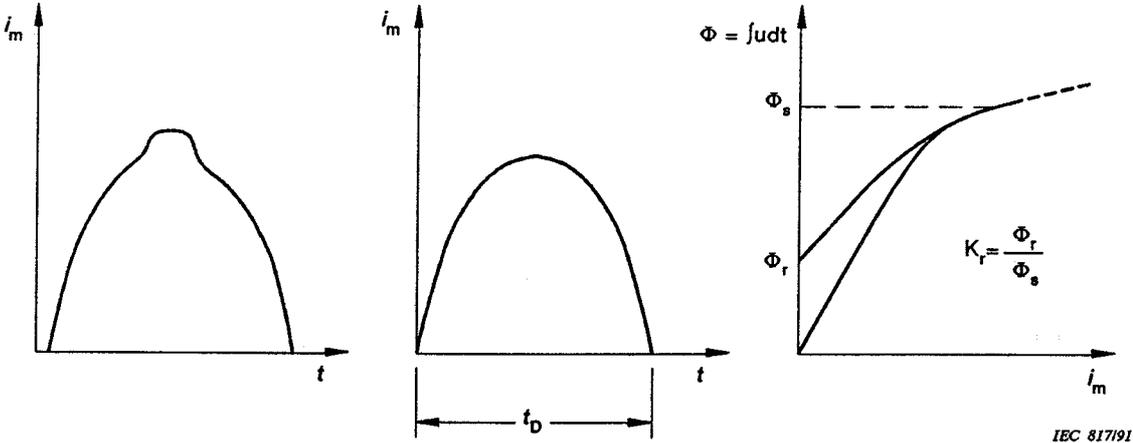


Figure B9 - Exemples d'enregistrements par la méthode de la décharge d'un condensateur



IEC 817/91

Figure B9 - Typical records for capacitor discharge method

Annexe C

Essais directs

C.1 Détermination des courants d'erreur

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

- a) Dans les circuits d'essai des figures C1 et C2a, un transformateur de courant de référence est utilisé. Le transformateur de courant de référence doit être du type à faible flux de fuites et être monté de manière telle que les effets d'influence des conducteurs de la boucle soient négligeables. Lorsque le transformateur de courant de référence a un facteur de rémanence élevé, la démagnétisation de son circuit magnétique avant l'application du courant d'essai peut être nécessaire. L'erreur du transformateur de courant de référence peut être ignorée si sa constante de temps secondaire, incluant les shunts, est plus grande que celle du transformateur de courant en essai d'un facteur d'au moins 10 et ceci durant la totalité du cycle de fonctionnement. Voir en exemples les oscillogrammes des figures C3a et C3b.
- b) Si on utilise les méthodes de la tension différentielle des figures C2a et C2b, on doit s'assurer que les shunts de mesure ont la même constante de temps et que le niveau de perturbation électrique dans le circuit de mesure est réduit à un minimum. Dans l'exemple du circuit de la figure C2b les shunts sont appariés de telle façon qu'ils ont un rapport global effectif identique à celui du transformateur de courant en essai.
- c) Des techniques numériques peuvent aussi être utilisées pour mesurer les courants primaire et secondaire séparément et calculer les courants d'erreur instantanés selon leurs définitions (voir 3.3 et 3.4). Les processus d'échantillonnage des courants primaire et secondaire doivent être synchronisés et la période d'échantillonnage doit être suffisamment courte pour obtenir la précision requise.

C.2 Mesure de l'intégrale de la tension secondaire

L'intégrale en fonction du temps de la tension aux bornes secondaires peut aussi être mesurée en utilisant soit des techniques analogiques (par exemple en utilisant des amplificateurs opérationnels) soit des techniques numériques (par exemple en utilisant des techniques d'acquisition et de traitement de données).

Dans les deux cas, l'équation suivante est valable:

$$\Phi(t) = \frac{R_{ct} + R_b}{R_b} \int_0^t R_b i_s dt \quad (C1)$$

où:

$\Phi(t)$ est le flux embrassé par l'enroulement secondaire, exprimé en weber

R_{ct} est la résistance de l'enroulement secondaire

R_b est la résistance connectée au secondaire

Annex C

Direct tests

C.1 Measurement of error currents

The instantaneous error current can be measured in many different ways. In all cases, the errors of the measuring system shall not exceed 10 % of the error limit corresponding to the class of the tested CT during the whole of the duty cycle.

a) In test circuits of figures C1 and C2a, a reference current transformer is used. The reference current transformer shall be of the low leakage flux type and so mounted that the influencing effects of loop conductors are negligible. When the reference current transformer has a high remanence factor, core demagnetization before the test energization may be necessary. The error of the reference CT can be ignored if its secondary time constant, inclusive of shunts, is greater than that of the tested CT by a factor of at least 10 during the whole of the duty cycle. See examples of oscillograms in figures C3a and C3b.

b) In using the voltage differential methods of figures C2a and C2b, care is necessary to ensure that the measuring shunts have the same time constant, and that electrical noise in the measuring circuit is reduced to a minimum. For the circuit of figure C2b the shunts are so matched that they have an effective overall ratio identical to that of the tested current transformer.

c) Digital techniques can also be used to measure the primary and secondary currents separately and compute the instantaneous error currents according to their definitions (see 3.3 and 3.4). The sampling process of primary and secondary currents shall be synchronized and the sampling interval shall be sufficiently short to obtain the required accuracy.

C.2 Measurement of secondary voltage integral

The integral during time of the voltage across the secondary terminals can also be measured by using analogue techniques (e.g. by using operational amplifiers) or digital techniques (e.g. by using data acquisition and processing techniques).

In both cases, the following equation is valid:

$$\Phi(t) = \frac{R_{ct} + R_b}{R_b} \int_0^t R_b i_s dt \quad (C1)$$

where:

$\Phi(t)$ is the secondary linked flux, in weber

R_{ct} is the secondary winding resistance

R_b is the secondary connected resistance

La valeur efficace de la tension équivalente $U(t)$ à la fréquence assignée f est alors donnée par:

$$U(t) = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} \frac{R_{ct} + R_b}{R_b} \int_0^t R_b i_s dt \quad (C2)$$

L'erreur sur la mesure du flux par l'essai direct ne doit pas dépasser $\pm 5\%$.

C.3 Essais directs aux conditions limites de précision

Les transformateurs de courant des classes TPS et TPX doivent être démagnétisés avant l'essai direct à cause de leur facteur de rémanence élevé. La démagnétisation des transformateurs de courant de classe TPY peut être nécessaire si le facteur de rémanence K_r n'est pas négligeable.

Deux essais directs sont effectués à la fréquence assignée et avec la charge secondaire assignée:

- Le courant primaire de court-circuit assigné, à la fréquence assignée, est appliqué sans asymétrie. La composante alternative du courant d'erreur instantané est mesuré et doit être en accord avec la valeur théorique correspondant à la constante de temps secondaire ($1/\omega T_s$).
- Le courant primaire de court-circuit assigné, à la fréquence assignée, est appliqué avec l'asymétrie maximale. Pour les valeurs spécifiées de la constante de temps primaire jusqu'à 80 ms, l'essai est effectué à la condition limite de précision spécifiée (cycle de fonctionnement spécifié). La constante de temps primaire ne doit pas différer de plus de 10 % de la valeur spécifiée. Pour les valeurs spécifiées de la constante de temps primaire supérieures à 80 ms, les essais peuvent être effectués à des conditions limites de précision équivalentes, après accord entre utilisateur et constructeur.

Durant chaque période d'application du courant primaire, la valeur instantanée de la première crête du courant primaire ne doit pas être inférieure à la valeur correspondant aux conditions spécifiées. La durée de(s) passage(s) du courant et/ou la charge secondaire sont ajustées de manière à ce que l'intégrale de la tension secondaire mesurée [équation (C1)] atteigne pendant l'essai le flux limite de précision (Φ_{al}) (voir 3.27).

La valeur enregistrée correspondante du courant d'erreur instantané de crête est mesurée et ne doit pas dépasser la valeur limite du courant d'erreur pour la classe de précision concernée (tableau 1). Pour les transformateurs de courant des classes TPX et TPY, le courant d'erreur total est mesuré. Pour les transformateurs de courant de la classe TPZ, la composante alternative du courant d'erreur est mesurée en prenant la moitié de la valeur de crête à crête (voir figure C4).

NOTES

1 Dans le cas des transformateurs de courant de classe TPZ, si la valeur assignée de I_{psc} ne peut pas être obtenue et si la charge secondaire est ajustée de manière à ce que le niveau de flux requis (Φ_{al}) soit atteint au cours de l'essai, la valeur mesurée de la composante alternative du courant d'erreur doit être multipliée par le facteur de correction suivant:

$$(R_{ct} + R_b) / (R_{ct} + R'_b)$$

où R_b est la charge assignée et R'_b la charge appliquée pour l'essai.

2 On remarquera que, si la charge secondaire est ajustée pour que le niveau de flux requis soit atteint au cours de l'essai, la durée de la (des) période(s) pendant laquelle (lesquelles) le courant est appliqué se trouve modifiée. Il y a lieu notamment de tenir compte de ce fait, dans le cas des transformateurs de courant des classes TPX et TPY, pour le cycle de fonctionnement F-0-F-0 car le niveau de flux au début du deuxième passage du courant doit demeurer inchangé. L'influence d'une modification des paramètres apparaît dans les équations de l'annexe A.

The equivalent r.m.s. voltage $U(t)$ at rated frequency f is then given by:

$$U(t) = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} \frac{R_{ct} + R_b}{R_b} \int_0^t R_b i_s dt \quad (C2)$$

Error in flux measurement by direct test shall not exceed $\pm 5\%$.

C.3 Direct tests in accuracy limiting conditions

Class TPS and class TPX current transformers should be demagnetized before the direct test because of the high remanence factor. It may be necessary to demagnetize class TPY current transformers if the remanence factor K_r is not negligible.

Two direct tests are performed at rated frequency and with rated secondary burden:

- a) The rated primary short-circuit current at rated frequency is applied without any offset. The a.c. component of the instantaneous error current is measured and shall be in accordance with the theoretical value corresponding to the secondary time constant $(1/\omega T_s)$.
- b) The rated primary short-circuit current at rated frequency is applied with maximum offset. For specified values of primary time constant up to 80 ms, the test is performed in the specified accuracy limiting condition (specified duty cycle). The primary time constant shall not deviate by more than 10 % from the specified value. For specified values of primary time constant above 80 ms, the tests can be performed in equivalent accuracy limiting conditions, subjected to agreement between user and manufacturer.

During each energization period, the first peak instantaneous primary current shall be not less than the value corresponding to the specified conditions. The duration of the energization(s) and/or secondary burden are adjusted so that the measured secondary voltage integral [equation (C1)] reaches the accuracy limit flux (Φ_{al}) (see 3.27) during the test.

The corresponding recorded value of the peak instantaneous error current is measured and shall not exceed the error current limiting value for the accuracy class concerned (table 1). For class TPX and TPY current transformers, the total error current is measured. For class TPZ current transformer, the a.c. component of the error current is measured as one half of the peak-to-peak value (see figure C4).

NOTES

1 If for TPZ current transformers the rated value of I_{DSC} cannot be achieved and the secondary burden is adjusted in order to reach the required flux level (Φ_{al}) during the test, the measured value of the a.c. component of the error current shall be multiplied by the following correction factor:

$$(R_{ct} + R_b) / (R_{ct} + R'_b)$$

where R_b is the rated burden and R'_b is the burden during the test.

2 If the secondary burden is adjusted in order to reach the required flux level during the test, it should be observed that the length of the necessary energization period(s) is changed. This should in particular be recognized for the C-0-C-0 duty cycle, class TPX and TPY current transformers where the flux level at the beginning of the second energization remains unchanged. The result of changing parameters is seen in the equations of annex A.

C.4 Détermination du facteur de construction (F_c) (voir 3.29)

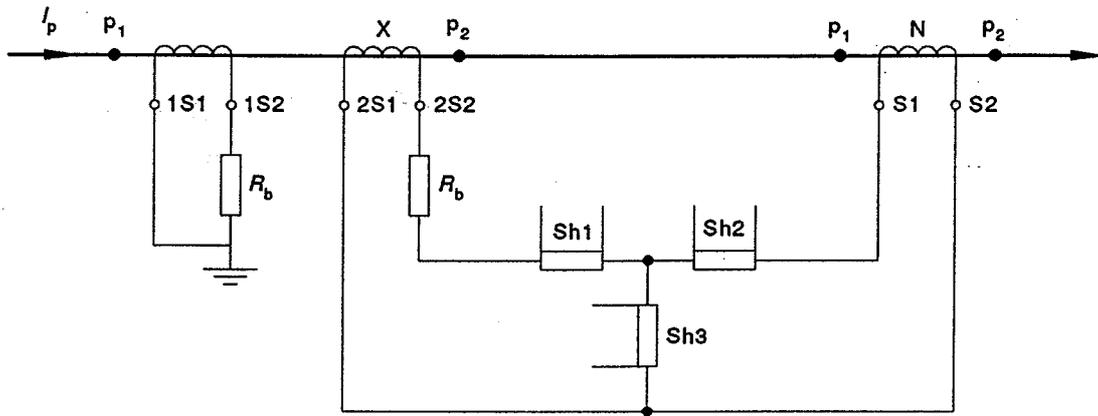
Se référant à l'essai b) du paragraphe C.3 ci-dessus, on augmente la durée d' (des) application(s) du courant et/ou la charge secondaire de manière telle que le courant d'erreur instantané mesuré atteigne la valeur limite pour la classe de précision concernée (tableau 1). La valeur correspondante de l'intégrale de la tension secondaire en fonction du temps est déterminée. Pour les transformateurs de courant de classe TPZ, une interpolation linéaire est utilisée pour déterminer l'instant auquel la valeur limite de la composante alternative du courant d'erreur est atteinte.

A partir de l'essai d'excitation par le secondaire, on détermine la valeur de l'intégrale de la tension secondaire en fonction du temps correspondant à la même valeur du courant d'excitation et on calcule le facteur de construction relatif à l'influence de l'enroulement primaire.

C.4 Determination of the factor of construction (F_c) (see 3.29)

Referring to test b) in clause C.3 above, the duration of the energization(s) and/or secondary burden are increased so that the measured instantaneous error current reaches the limiting value for the accuracy class concerned (table 1). The corresponding voltage time integral is determined. For class TPZ, linear interpolation is used to determine the instant at which the limiting value of the a.c. component of the error current is reached.

From the secondary exciting test, the voltage time integral up to the same value of the exciting current is determined and the primary winding influence construction factor is calculated.



CEI 81891

Symboles

X = transformateur de courant en essai

N = transformateur de courant de référence à faible flux de fuites

Sh = shunt non inductif

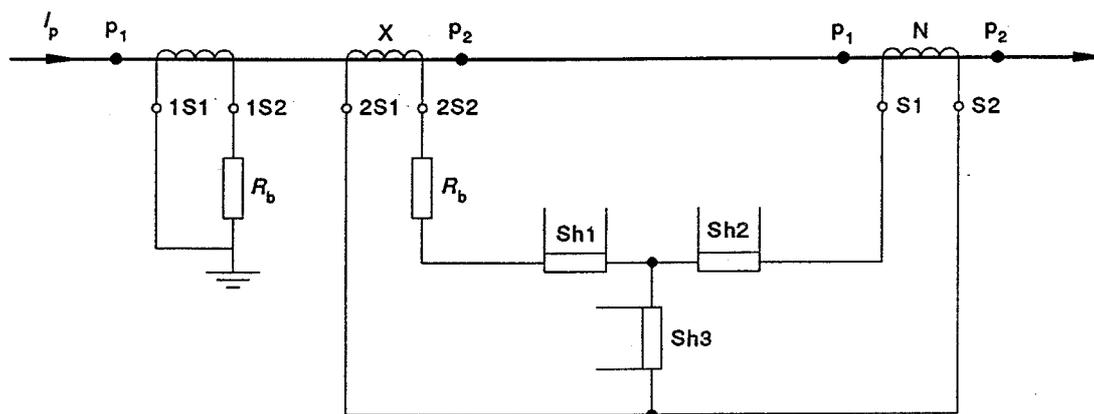
$$1 = I_s$$

$$2 = I_p / K_n$$

$$3 = I_E$$

R_b = charge secondaire assignée et adaptée si nécessaire aux conditions d'essais.

Figure C1 - Schéma de la méthode de courant différentiel



IEC 818191

Symbols

X = CT under test

N = reference CT low leakage flux type

Sh = non-inductive shunt

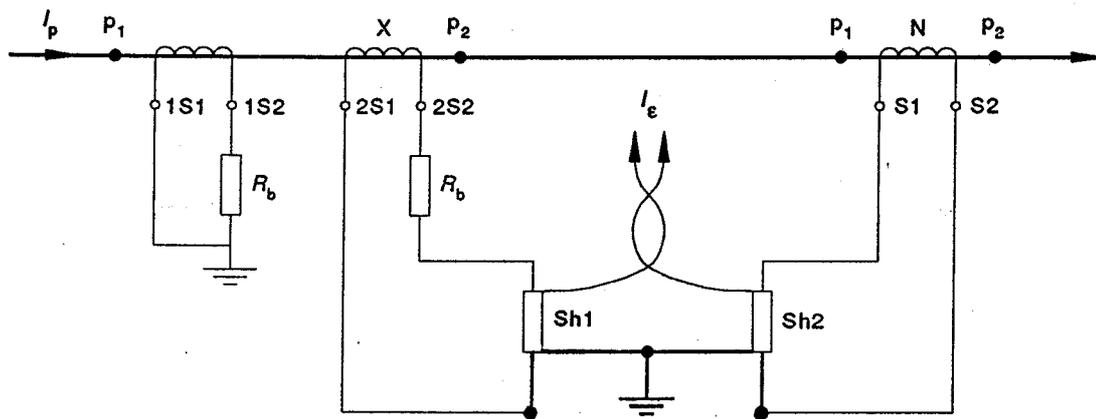
$$1 = I_s$$

$$2 = I_p / K_n$$

$$3 = I_\epsilon$$

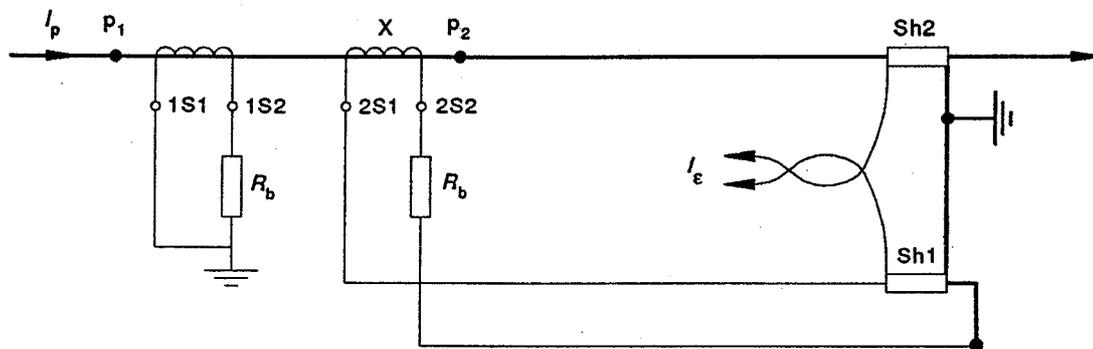
R_b = rated secondary burden adjusted if necessary to meet test parameters

Figure C1 - Current difference test arrangement



CEI 819/91

Figure C2a - Avec shunts secondaires



CEI 820/91

Figure C2b - Avec shunt primaire et shunt secondaire de rapport adapté

Symboles

X = transformateur de courant en essai

N = transformateur de courant de référence à faible flux de fuites

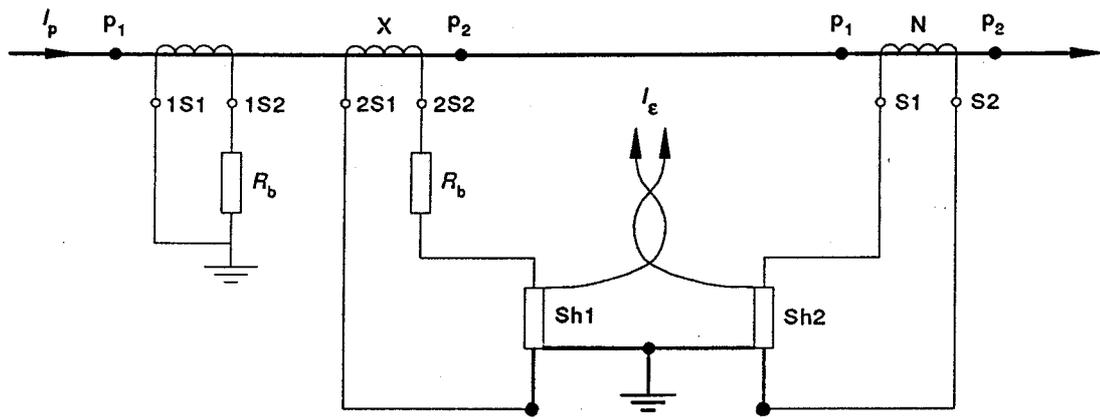
Sh = shunt non inductif

$$1 = I_s$$

$$2 = I_p / K_n$$

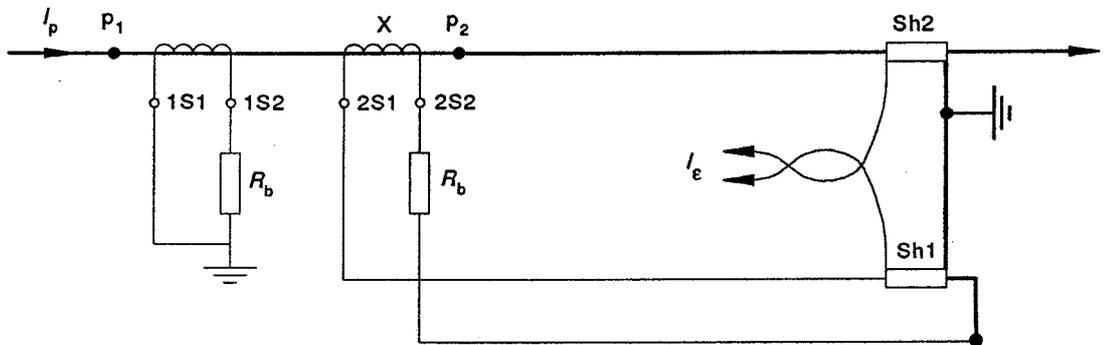
R_b = charge secondaire assignée et adaptée si nécessaire aux conditions d'essais.

Figure C2 - Schéma de la méthode de la tension différentielle



IEC 819/91

Figure C2a - With secondary connected shunts



IEC 820/91

Figure C2b - With primary shunt-adjusted ratio

Symbols

X = CT under test

N = reference CT low leakage flux type

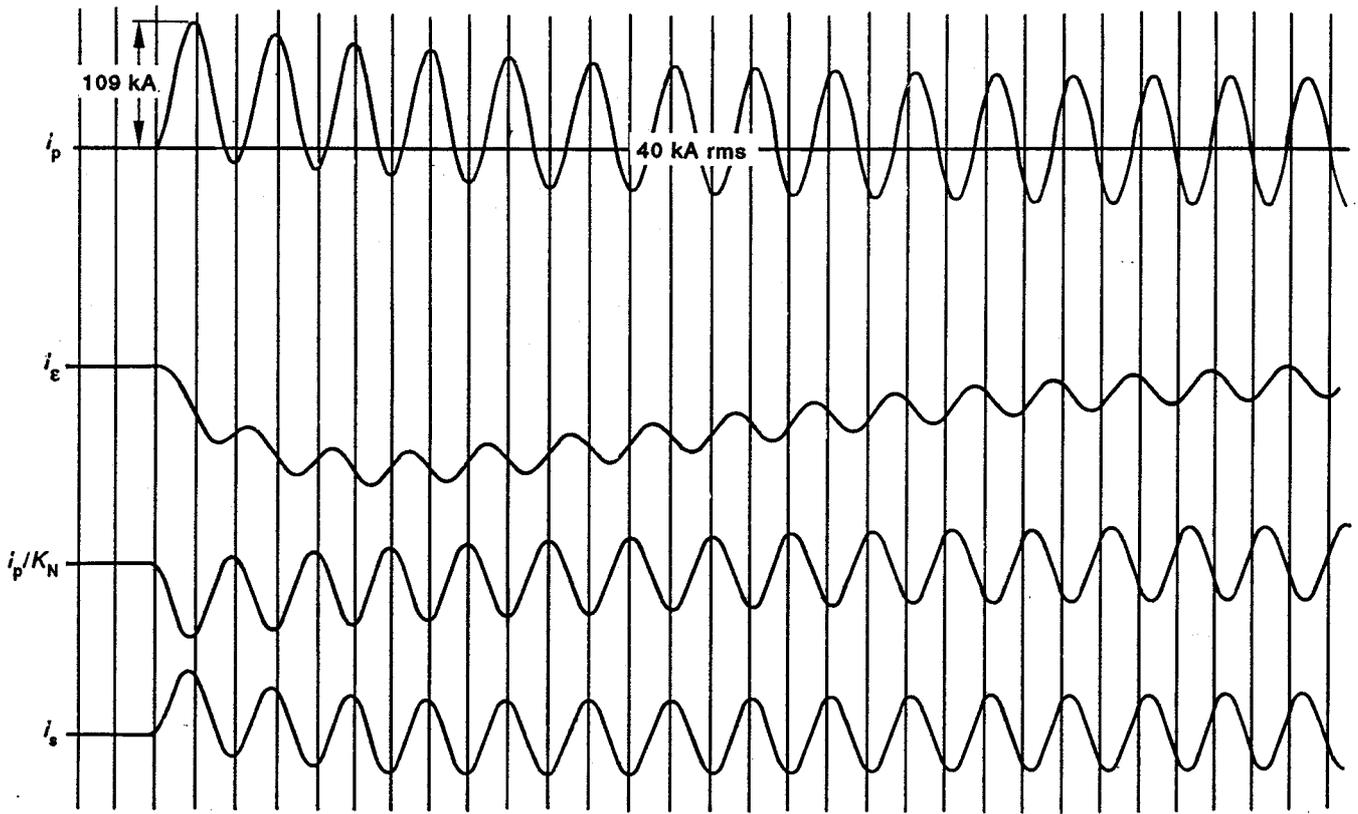
Sh = non-inductive shunt

$$1 = I_s$$

$$2 = I_p / K_n$$

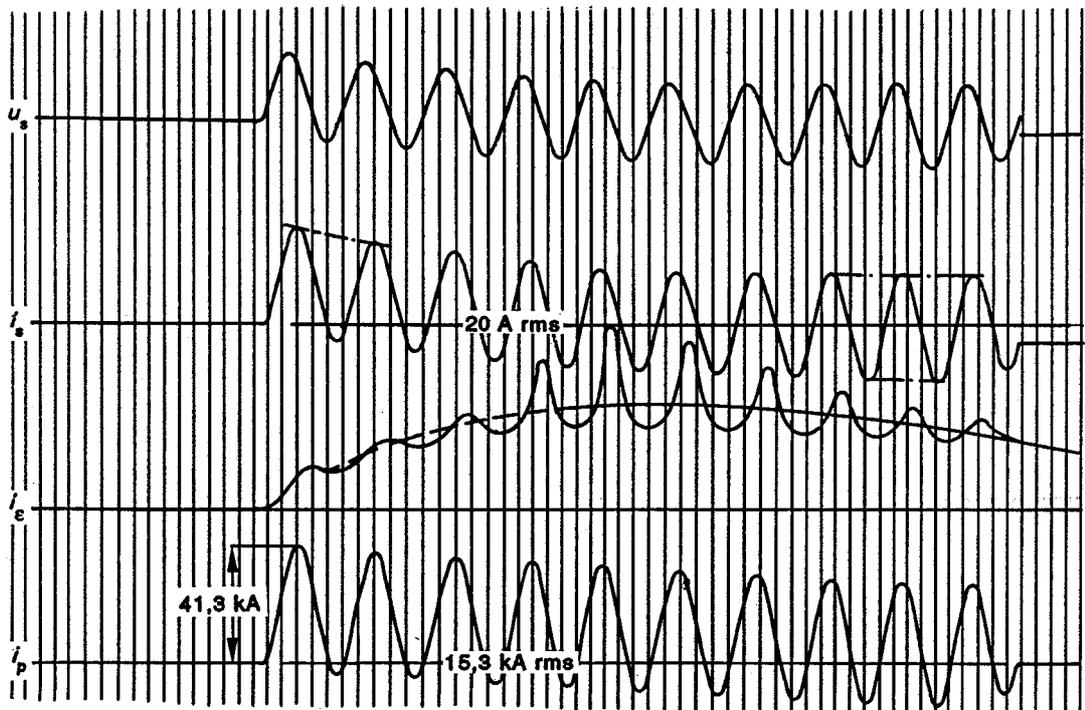
R_b = rated secondary burden adjusted if necessary to meet test parameters

Figure C2 - Voltage difference method



CEI 821/91

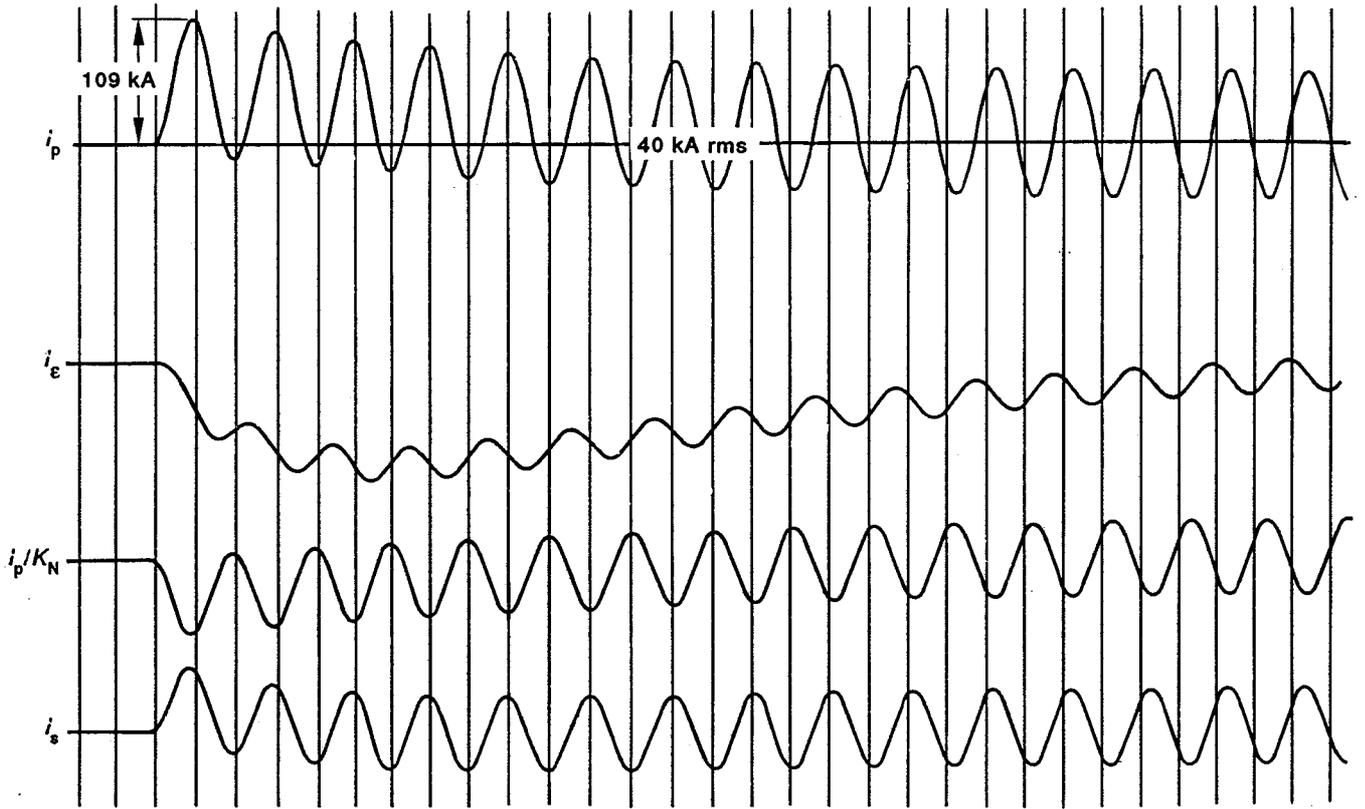
Figure C3a - Oscillogramme typique pour un transformateur de courant type TPZ



CEI 822/91

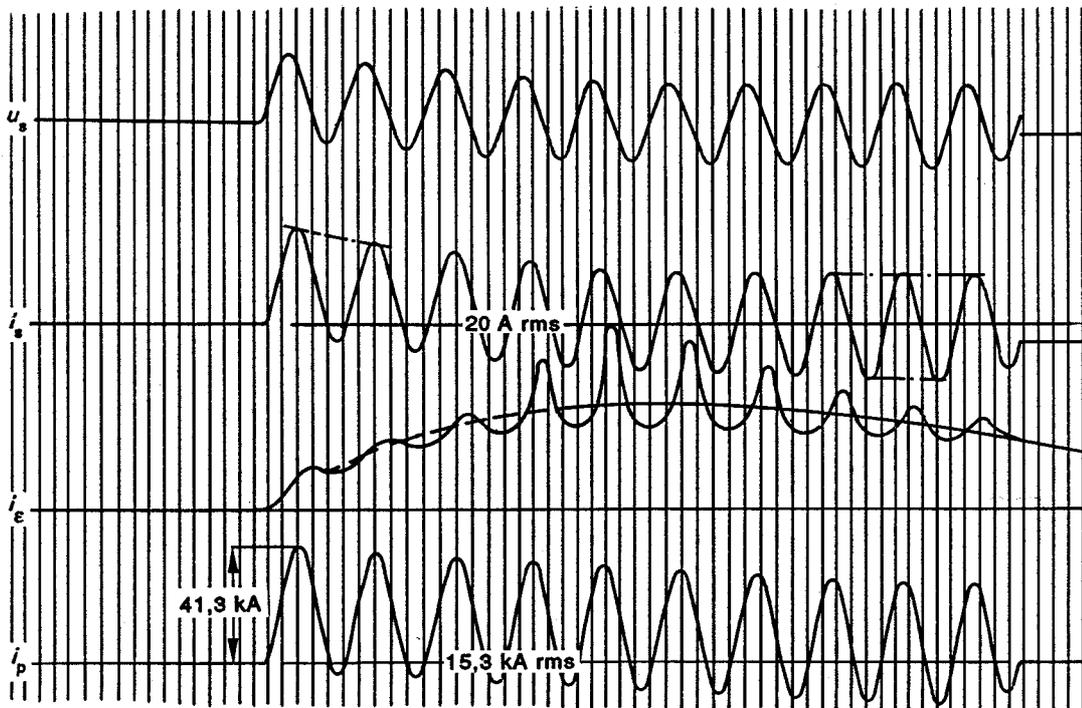
Figure C3b - Oscillogramme typique pour un transformateur de courant type TPY

Figure C3 - Oscillogrammes



IEC 82191

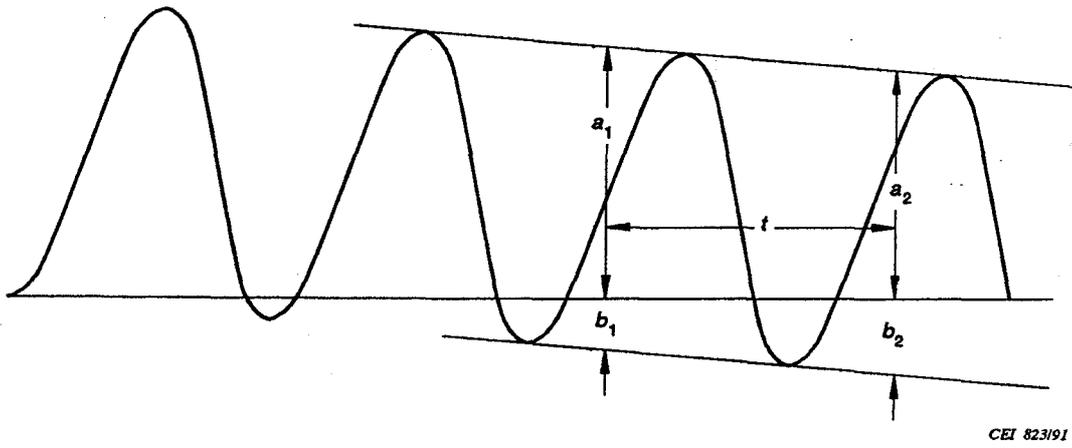
Figure C3a - Typical oscillogram for a current transformer type TPZ



IEC 82291

Figure C3b - Typical oscillogram for a current transformer type TPY

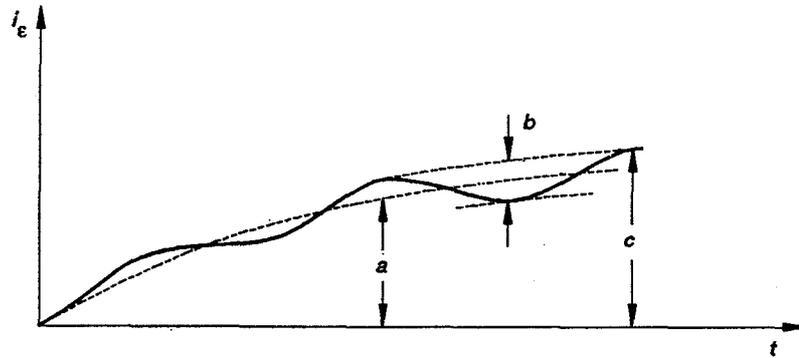
Figure C3 - Oscillograms



CEI 823/91

$$T_p = t / \ln \frac{a_1 - (a_1 + b_1) / 2}{a_2 - (a_2 + b_2) / 2} = \frac{t}{\ln \left(\frac{a_1 - b_1}{a_2 - b_2} \right)}$$

Figure C4a - Mesure de la constante de temps primaire pour un transformateur de courant type TPZ



CEI 824/91

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

$b = 2 \hat{i}_{\text{εac}}$

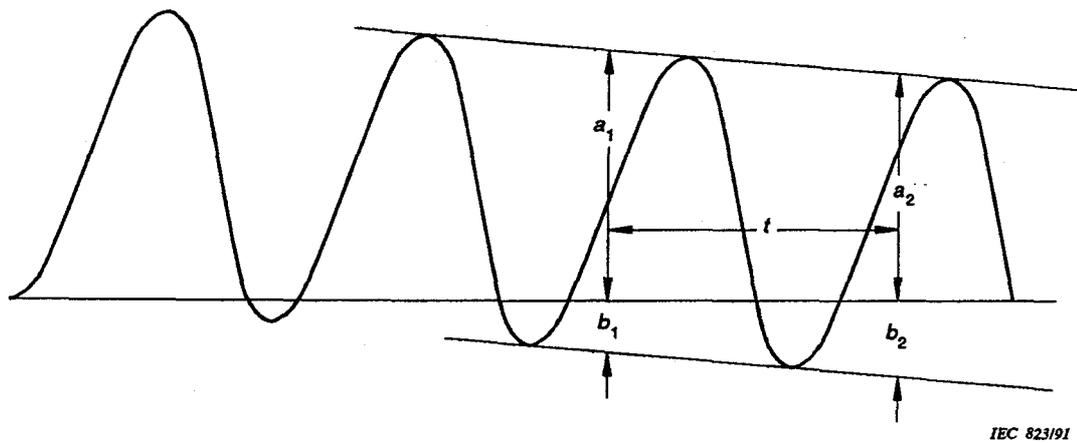
$c = \hat{i}_{\text{εac}} + \hat{i}_{\text{edc}}$

Pour TPY: $\hat{i}_{\text{ε}} = c$

Pour TPZ: $\hat{i}_{\text{ε}} = \hat{i}_{\text{εac}} = b/2$

Figure C4b - Mesure des courants d'erreur pour transformateurs de courant type TPY et TPZ

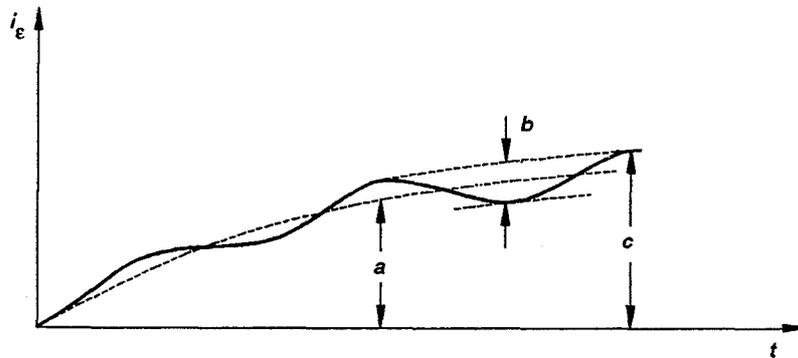
Figure C4 - Oscillogrammes



IEC 823/91

$$T_p = t / \ln \frac{a_1 - (a_1 + b_1) / 2}{a_2 - (a_2 + b_2) / 2} = \frac{t}{\ln \left(\frac{a_1 - b_1}{a_2 - b_2} \right)}$$

Figure C4a - Measurement of primary time constant for a current transformer type TPZ



IEC 824/91

$a = \hat{i}_{\epsilon dc}$

$b = 2 \hat{i}_{\epsilon ac}$

$c = \hat{i}_{\epsilon ac} + \hat{i}_{\epsilon dc}$

For TPY: $\hat{i}_{\epsilon} = c$

For TPZ: $\hat{i}_{\epsilon} = \hat{i}_{\epsilon ac} = b/2$

Figure C4b - Measurement of error currents for current transformers type TPY and TPZ

Figure C4 - Oscillograms

Annexe D

Guide d'identification des critères de performance d'un transformateur de courant destiné aux relais de protection

D.1 Introduction

Ce guide est destiné à identifier certains des principaux facteurs qui peuvent affecter le choix de la classe du transformateur de courant en se référant en particulier aux courants primaires de défaut du réseau comportant des composantes transitoires apériodiques.

Les exigences de performance des transformateurs de courant de classe P (voir chapitre III de la CEI 185) sont définies pour un courant primaire appliqué sinusoïdal et symétrique. Ceci n'exclut pas que l'on puisse assigner des performances de réponse en régime transitoire à des transformateurs de courant de classe P, pourvu que des données appropriées soient disponibles. Par exemple, un transformateur de courant qui satisfait aux exigences du point b) de l'article 39 de la CEI 185 est essentiellement de construction à faible flux de fuites et peut être traité de la même manière qu'un transformateur de courant de classe TPS pour autant que cette application le concerne.

Une grande expérience à la fois en service et en laboratoire d'essais justifie l'utilisation de transformateurs de courant de classe P ayant un dimensionnement additionnel pour le régime transitoire à partir d'une spécification comportant une puissance de précision plus élevée. En pratique le problème le plus important qui se pose est la nécessité de tenir compte de la consommation interne (résistance de l'enroulement) lorsque l'on considère la performance globale.

Par exemple, on pourrait penser qu'un transformateur de courant prévu pour 60 VA 5P20 et destiné à être utilisé avec une charge connectée à ses bornes secondaires de 2 W présente alors un facteur de surdimensionnement de 30. En pratique, cependant, un tel transformateur de courant peut bien avoir une charge interne voisine de 20 W, ce qui conduit à un facteur de surdimensionnement réel de l'ordre de 3.

Les possibilités d'un transformateur de courant peuvent être définies en fonction de la puissance qui doit être dissipée dans le circuit secondaire ou par la tension d'excitation maximale équivalente nécessaire pour faire circuler le courant dans le circuit secondaire. Ici, l'expression de cette tension sera utilisée avec les équivalents suivants:

$$E_{al} \approx K_{ssc} \cdot K_{td} (R_{ct} + R_b) I_{sn} \approx \frac{P_i + P_e}{I_{sn}} \cdot K_{ssc} \cdot K_{td} \quad (D1)$$

Dans l'expression précédente, P_i et P_e représentent respectivement les puissances équivalentes dissipées dans l'enroulement secondaire du transformateur de courant et dans la charge externe. Tous les paramètres peuvent être spécifiés ou estimés par l'acheteur avec une précision raisonnable sauf peut être en ce qui concerne la résistance de l'enroulement secondaire du transformateur de courant.

D.2 Constante de temps primaire (T_p)

La constante de temps primaire spécifiée (voir 3.6) a pour but de garantir que le transformateur de courant est convenablement dimensionné pour l'utilisation prévue, compte tenu du cycle de fonctionnement. S'il y a plusieurs sources d'alimentation débitant sur le jeu de barres intéressé du réseau, on peut considérer que chacune d'elles fournit un courant sinusoïdal et une composante apériodique de valeur initiale et de constante de temps associées.

Annex D

Guide to performance criteria for current transformer for protection relaying

D.1 Introduction

This guide is intended to identify some of the principal factors which may affect the choice of current transformer class with particular reference to primary system fault currents containing d.c. transients.

Class P current transformers (see chapter III of IEC 185) performance requirements are defined relative to a symmetrical sinusoidal primary energizing current. This does not exclude class P current transformers from being assigned a transient performance capability provided that appropriate data are available. For example, a current transformer which satisfies the requirements of item b) of clause 39 of IEC 185 is essentially of low leakage flux construction and can be treated in the same way as a class TPS current transformer so far as application is concerned.

Extensive experience both in service and by laboratory testing supports the usage of class P current transformers including designs for which an additional transient dimension has been included by specifying a larger nominal output. The main practical problem arises from the need to take account of the internal burden (winding resistance) in considering the total performance.

For example, a current transformer rated for 60 VA 5P20 and intended for use with a secondary connected burden of 2 W, may be thought to be over-dimensioned by a factor of 30. In practice, however, such a current transformer could well have an internal burden approaching 20 W, leading to a practical over-dimensioning factor of the order of 3.

The current transformer capabilities can be defined in terms of the power to be dissipated in the secondary circuit or by the equivalent maximum exciting voltage necessary to drive current in the secondary circuit. Herein, voltage relationships will be used with the following equivalents:

$$E_{al} \approx K_{ssc} \cdot K_{td} (R_{ct} + R_b) I_{sn} \approx \frac{P_i + P_e}{I_{sn}} \cdot K_{ssc} \cdot K_{td} \quad (D1)$$

In the foregoing equation P_i and P_e represent equivalent power dissipated in the current transformer secondary winding and in the externally connected burden respectively. All parameters can be either specified or estimated by the purchaser with reasonable accuracy with the possible exception of the current transformer secondary winding resistance.

D.2 Primary time constant (T_p)

The specified primary time constant (see 3.6) is intended to ensure that the current transformer is adequately dimensioned for the intended application inclusive of the duty cycle. If there are a number of infeeds to the busbar of interest on the primary network, each infeed can be assumed to contribute a discrete sinusoidal current with a corresponding d.c. offset and time constant of decay.

Pour un cycle de fonctionnement donné, le flux dans le transformateur de courant imputable à cette composante particulière de courant peut être représenté par une valeur correspondante de E_{al} . La somme des valeurs ainsi obtenues est représentative des exigences relatives au flux total pour le transformateur de courant. Une simplification peut être faite en considérant que tous les courants sinusoïdaux ont la même phase.

D.3 Choix de la classe du transformateur de courant

Le choix entre les classes TPS, TPX, TPY ou TPZ sera dans de nombreux cas déterminé par la pratique habituelle de l'acheteur tenant compte des équipements de protection habituellement utilisés sur le réseau auquel les transformateurs de courant sont destinés. Quelques-unes des caractéristiques principales des classes particulières sont discutées ci-dessous.

On requiert des transformateurs de courant de classe TPS non seulement qu'ils soient du type à faible flux de fuites mais aussi qu'ils présentent un rapport des nombres de spires parfaitement déterminé. L'une et l'autre de ces exigences sont essentielles pour les systèmes de protection tant contre les défauts entre phases que contre les défauts à la terre qui sont fondés sur le principe simple de circulation de courant et qui utilisent des relais à haute impédance. Puisque le flux rémanent n'a pas de limite spécifiée, les limites d'application pour les relais de mesure de protection sont habituellement fondées sur des formules empiriques, obtenues à partir d'essais et de l'expérience en service. L'interruption du courant primaire appliqué lorsque le transformateur de courant est fortement saturé provoquera une très rapide décroissance du courant dans le circuit secondaire correspondant à la diminution du flux de la valeur de saturation à la valeur de rémanence. Les temps de retour des relais de protection ne sont pas habituellement affectés d'une manière significative par les caractéristiques du courant décroissant qui subsiste au secondaire des transformateurs de courant de classe TPS après interruption du courant primaire.

Les caractéristiques de base pour les transformateurs de courant de classe TPX sont généralement similaires à celles des transformateurs de courant de classe TPS sauf en ce qui concerne les limites d'erreurs prescrites qui sont différentes et les effets possibles d'influence qui peuvent nécessiter un facteur de construction plus grand que 1,1.

Pour les transformateurs de courant de classe TPY, le flux rémanent doit être inférieur ou au plus égal à 0,1 du flux de saturation. Durant la transition de l'état de saturation à l'état de flux rémanent, le courant dans le circuit secondaire se maintiendra à un niveau beaucoup plus élevé et pendant plus longtemps que dans le cas d'un transformateur de courant de classe TPS ou TPX de dimensions similaires et ayant une charge similaire connectée à ses bornes secondaires. Pour un cycle de fonctionnement F-0-F-0, le facteur de dimensionnement pour le régime transitoire nécessaire pour les transformateurs de courant de classe TPY sera très affecté par la relation entre la constante de temps de la boucle secondaire (T_s) et le temps de pause (t_{fr}).

Puisque la limite d'erreur totale permise est 10 %, le facteur de dimensionnement pour le régime transitoire doit être considéré conjointement avec la constante de temps de la boucle secondaire:

$$\frac{100 K_{td}}{2 \pi f T_s} = \varepsilon \leq 10 \% \quad (D2)$$

Relative to a given duty cycle, the flux in the current transformer attributable to that discrete component of current can be represented by a corresponding value for E_{al} . The sum of the values so derived is representative of the total flux requirements for the current transformer. A simplifying assumption is that all sinusoidal currents are in phase.

D.3 Choice of current transformer class

Choice between classes TPS, TPX, TPY or TPZ will, in many cases, be determined by the purchaser's preferred practice taking account of relay equipment commonly in service on the network for which the current transformers are destined for use. Some of the main characteristics of the individual classes are discussed below.

In addition to being of the low leakage flux type, class TPS current transformers are required to have close control of the turns ratio. Both requirements are essential to both phase fault and earth fault protection schemes based on the simple circulating current principle and using high impedance relays. Since the remanent flux has no specified limit, application limits for measuring protection relays are usually based on empirical formulae derived from test and field experience. Interruption of the primary energizing current when the current transformer is severely saturated will result in a very rapid decay of the current in the secondary circuit as the flux falls from the saturated to the remanent level. Resetting times for protection relays are not usually significantly affected by the decay characteristics of class TPS current transformers.

The basic characteristics for class TPX current transformers are generally similar to those of class TPS current transformers except for the different error limits prescribed and possible influencing effects which may necessitate a factor of construction greater than 1,1.

Class TPY current transformers control the remanent flux to not more than 0,1 per unit of the saturation flux. During the transition from the saturated to the remanent flux conditions, current in the secondary circuit will be maintained at a much higher level and for longer than would be the case for a class TPS or TPX current transformers of similar dimensions and with similar secondary connected burden. For a C-0-C-0 duty cycle, the transient dimensioning factor necessary for class TPY current transformers will be critically affected by the relationship between the secondary circuit time constant (T_s) and the dead time (t_{fr}).

Since the total permissible error limit is 10 %, the transient dimensioning factor shall be considered conjunctively with the secondary circuit time constant:

$$\frac{100 K_{td}}{2 \pi f T_s} = \varepsilon \leq 10 \% \quad (D2)$$

Pour les transformateurs de courant de classe TPZ, le flux rémanent est négligeable et les limites paramétriques de la constante de temps de la boucle secondaire sont spécifiées. Le courant secondaire décroissant subsistant après la saturation totale sera maintenu à une valeur plus élevée qu'elle ne le serait dans le cas de la classe TPY pendant la période initiale à considérer (temps de retour des relais). De nombreux systèmes de relais ont des convertisseurs d'entrée courant/tension qui transforment les grandeurs de mesure pour l'utilisation. Ainsi, seule la composante alternative du courant secondaire intervient et les caractéristiques de retour des relais sont largement indépendantes de la composante aperiodique due au transformateur de courant.

Le calcul du facteur de dimensionnement pour le régime transitoire nécessaire pour chacune des classes ci-dessus de transformateurs de courant peut être effectué en introduisant les données dans les équations appropriées fournies en annexe A.

D.4 Exemple type des étapes pour la préparation d'une spécification

Le cycle de fonctionnement F-0 pour les transformateurs de courant de classe TPZ est fondé sur l'hypothèse que les conditions sont telles que le flux maximal se trouve atteint. Puisque les limites de tolérance sur la constante de temps de la boucle secondaire sont spécifiées, K_{td} peut être calculé directement.

Pour les transformateurs des classes TPS et TPX pour lesquels $t' < t_{max}$ et $T_p \ll T_s$ une équation simplifiée pour le calcul du facteur de régime transitoire pour une seule application de courant est:

$$K_{tf} \approx 2 \cdot \pi \cdot f \cdot T_p \cdot (1 - e^{-t'_{al}/T_p}) + 1 \quad (D3)$$

Il est moins facile de fixer les exigences pour les transformateurs de courant de classe TPY; celles-ci sont examinées ci-dessous.

Supposons que les données relatives à un réseau de transport d'énergie à haute tension et les exigences de base soient les suivantes:

Calibre de l'appareillage de coupure: 50 Hz, courant assigné: 2 000 A
 Courant coupé de court-circuit assigné: 40 kA
 (voir 4.101 de la CEI 56)

Apports de courant de défaut au jeu de barres:
 I'_p : 15 kA à $T'_p = 240$ ms (générateurs locaux, X/R = 76)
 I''_p : 20 kA à $T''_p = 60$ ms (apport du réseau)

Transformateur de courant: { classe TPY
 rapport 2 000 / 1
 résistance connectée aux bornes secondaires:
 $R_b = (3+4) = 7 \Omega$

Cycle de fonctionnement: F-0 $t'_{al} = 240$ ms
 F-0-F-0 $t' = 120$ ms
 $t'' = 60$ ms
 $t_{fr} = 450$ ms

Les facteurs de régime transitoire (K_{td} , K_{tf} et $K_{tf max}$) sont déterminés par introduction des données correspondantes dans les équations appropriées fournies en annexe A excepté que dans tous les cas la valeur -1 est substituée à $\sin \omega t$.

For class TPZ current transformers, the remanent flux is negligible and the secondary loop time constant parametric limits are specified. The decaying secondary current following severe saturation will be maintained at a higher value than would be the case for class TPY during the initial period of interest (relay reset time). Many relay systems have input current/voltage transducers to convert the measurands for processing. Thus, only the a.c. component of secondary current is of interest and relay reset characteristics are largely independent of current transformer decrement.

Calculation of the transient dimensioning factor necessary for each of the above current transformer classes can be made by substitution of data into the appropriate equations given in annex A.

D.4 Typical example of steps in preparation of specification

The C-0 duty cycle for class TPZ current transformers is based on maximum flux conditions being achieved. Since the secondary loop time constant tolerance limits are specified, K_{td} can be calculated directly.

For class TPS and TPX current transformers for which $t' < t_{max}$ and $T_p \ll T_s$, a simplified equation for the transient factor for a single energization is:

$$K_{tf} \approx 2 \cdot \pi \cdot f \cdot T_p \cdot (1 - e^{-t'_{al}/T_p}) + 1 \quad (D3)$$

Requirements for class TPY current transformers are less easily defined and are considered below.

Suppose data for a high voltage power transmission network and basic requirements are as follows:

Switchgear rating: 50 Hz, rated current: 2 000 A
Rated short-circuit breaking current: 40 kA
(see 4.101 of IEC 56)

Fault infeeds at busbar: I'_p : 15 kA at $T'_p = 240$ ms
(local generation, X/R = 76)
 I''_p : 20 kA at $T''_p = 60$ ms
(network infeed)

Current transformer: { Class TPY
ratio 2000/1
Secondary connected burden
 $R_b = (3+4) = 7 \Omega$

Duty cycles: C-0 $t'_{al} = 240$ ms
C-0-C-0 $t' = 120$ ms
 $t'' = 60$ ms
 $t_{fr} = 450$ ms

Transient factors (K_{td} , K_{tf} and $K_{tf_{max}}$) are determined by substitution of derived data into the appropriate equations given in annex A, except that in all cases -1 is substituted for $\sin \omega t$.

L'optimisation de l'étude du transformateur de courant est de la responsabilité du constructeur.

Cependant, afin de vérifier que la spécification qui doit être fournie ne conduit pas à un dimensionnement dont l'importance ne serait pas réaliste, certaines ou toutes les étapes de calcul qui suivent peuvent être abordées.

1re étape

La spécification du transformateur de courant peut être fondée sur $I_{psc} = 40$ kA. En première approximation, la constante de temps primaire équivalente peut être calculée comme suit:

$$T_p \text{ équivalente} = \frac{15\,000}{40\,000} \cdot 240 + \frac{20\,000}{40\,000} \cdot 60 = 120 \text{ ms} \quad (D4)$$

2e étape

Déterminer T_s . En pratique, la valeur sera habituellement comprise entre 1 s et 3 s. En prenant $T_s = 3$ s et $T_p = 120$ s, déterminer la valeur correspondante pour K_{td} . Pour le cycle de fonctionnement F-0, $K_{td} = 34$. Pour le cycle de fonctionnement F-0-F-0, $K_{td} = 36$.

Selon l'équation (D2) ci-dessus, la valeur admissible pour T_s en vue de respecter la limite d'erreur relative à la classe est:

$$T_s = \frac{100}{10} \cdot \frac{36}{2\pi f} = 1,15 \text{ s}$$

En tenant compte des tolérances de construction et d'un courant de base $I_{psc} = 40$ kA, une nouvelle valeur de $T_s = 1,35$ s serait raisonnable pour des déterminations ultérieures.

3e étape

Estimer la résistance de l'enroulement secondaire (R_{ct}). En principe, la valeur de R_{ct} ne devrait pas dépasser environ 50 % de la résistance externe R_b connectée aux bornes secondaires. Dans ce cas $R_{ct} \leq 7/2 = 3,5 \Omega$.

La valeur réelle sera déterminée par des paramètres intimement liés entre eux, à savoir: la section du circuit magnétique, l'espace disponible pour l'enroulement secondaire, le nombre de spires et la section des conducteurs de l'enroulement secondaire. Bien qu'il n'y ait pas de limites absolues, une section du circuit magnétique de 10^4 mm^2 peut être prise comme étant la valeur limite la plus élevée pour une construction économique avec une résistance de l'enroulement secondaire correspondante d'environ $7/A_w \cdot \text{m}\Omega/\text{spire}$ (où A_w est la section de cuivre du conducteur de l'enroulement en mm^2). En pratique, la valeur sera habituellement comprise entre 1 et $3,5 \Omega/1\,000$ spires.

Par conséquent, $R_{ct} = 3,5 \Omega$ est raisonnable et une résistance de la boucle secondaire $R_s = 10,5 \Omega$ peut être utilisée par la suite dans les calculs.

4e étape

Déterminer la f.é.m. limite secondaire équivalente (E_{al}) en utilisant les données corrigées:

$$I_{psc} = 40 \text{ kA}, T_p = 120 \text{ ms}, T_s = 1,35 \text{ s}, R_s = 10,5 \Omega.$$

Optimization of current transformer design is the responsibility of the manufacturer.

However, in order to verify that the specification to be issued does not result in an unrealistically large design, any or all of the following steps may be taken.

Step 1

The current transformer specification may be based on $I_{psc} = 40$ kA. For a first approximation, the equivalent primary time constant may be taken as:

$$T_p \text{ equivalent} = \frac{15\,000}{40\,000} \cdot 240 + \frac{20\,000}{40\,000} \cdot 60 = 120 \text{ ms} \quad (D4)$$

Step 2

Determine T_s . The practical range will usually be between 1 s and 3 s. Using $T_s = 3$ s and $T_p = 120$ ms, determine the corresponding value for K_{td} . For C-0 duty cycle, $K_{td} = 34$. For C-0-C-0 duty cycle, $K_{td} = 36$.

From equation (D2) above, the permissible value for T_s to satisfy the class error limit is:

$$T_s = \frac{100}{10} \cdot \frac{36}{2\pi f} = 1,15 \text{ s}$$

Allowing for manufacturing tolerances and a base current $I_{psc} = 40$ kA, a new value $T_s = 1,35$ s would be reasonable for further assessment.

Step 3

Estimate secondary winding resistance (R_{ct}). In principle, the value for R_{ct} should not exceed about 50 % of the external connected burden R_b . In this case $R_{ct} \leq 7/2 = 3,5 \Omega$.

The actual value will be determined by interrelated parameters including core cross-section, space available for secondary winding, number of turns and cross-section of secondary winding conductors. Whilst there are no absolute limits, a core cross-sectional area of 10^4 mm^2 may be taken as representative of the upper limiting value for an economic design with a corresponding secondary winding resistance of approximately $7/A_w \cdot \text{m}\Omega / \text{turn}$ (where A_w is the cross-sectional area of the (copper) winding in mm^2). A practical range will usually be between 1 and $3,5 \Omega / 1\,000$ turns.

Hence $R_{ct} = 3,5 \Omega$ is reasonable and the secondary loop resistance $R_s = 10,5 \Omega$ may be used in subsequent calculations.

Step 4

Determine equivalent secondary limiting e.m.f. (E_{al}) using revised data:

$$I_{psc} = 40 \text{ kA}, T_p = 120 \text{ ms}, T_s = 1,35 \text{ s}, R_s = 10,5 \Omega$$

Pour le cycle de fonctionnement F-0: $t_{al} = 240$ ms, d'où:

$$K_{td} = 30$$

Pour le cycle de fonctionnement F-0-F-0: $t' = 120$ ms, $t_{fr} = 450$ ms, $t'' = 60$ ms, d'où:

$$K'_{tf} = 23,6 \text{ et } K''_{tf} = 15,5$$

$$K_{td} = 23,6 \cdot 0,685 + 15,5 = 31,7$$

$$\text{avec } e^{-(t_{fr} + t'_{al}) / T_s} = 0,685$$

$$E_{al} = 31,7 \cdot \frac{40\,000}{2\,000} \cdot 10,5 = 6,7 \text{ kV (valeur efficace) ou } 3,35 \text{ V/spire}$$

Pour un circuit magnétique en tôle d'acier au silicium à grains orientés de section 10^4 mm^2 , une valeur sensiblement égale à 4 V/spire se situe dans le domaine théorique des possibilités. Une spécification fondée sur les limites paramétriques définies ci-dessus serait par conséquent acceptable.

5e étape

Détermination de E_{al} pour l' (les) application(s) de courant dans les conditions de service réel. Les hypothèses simplificatrices sont: a) les effets du déphasage entre les composantes sont ignorés et b) la valeur transitoire maximale atteinte pour chacune des composantes du courant est utilisée comme suit dans chacun des cas de fonctionnement considérés:

Cycle de fonctionnement F-0:

$$\text{lorsque } T_p = 240 \text{ ms, } K_{td} = K_{tf} = 44$$

$$\text{lorsque } T_p = 60 \text{ ms, } K_{td} = K_{tf \text{ max}} = 17,3$$

$$E_{al} = \left[44 \cdot \frac{15\,000}{2\,000} + 17,3 \cdot \frac{20\,000}{2\,000} \right] \cdot 10,5 = 5\,282 \text{ V}$$

Cycle de fonctionnement F-0-F-0:

$$\text{lorsque } T_p = 240 \text{ ms, } K_{rd} = 29,3 \cdot 0,685 + 17,3 = 37,4$$

$$\text{lorsque } T_p = 60 \text{ s, } K_{td} = 16,4 \cdot 0,685 + 12,6 = 23,8$$

$$E_{al} = \left[37,4 \cdot \frac{15\,000}{2\,000} + 23,8 \cdot \frac{20\,000}{2\,000} \right] \cdot 10,5 = 5\,444 \text{ V}$$

A partir des combinaisons ci-dessus des paramètres, un nouvel affinement de la spécification pourrait être considéré à partir de la 4e étape. Par exemple, une réduction de T_p à 80 ms entraînerait une réduction de la valeur théorique de E_{al} à environ 6,1 kV. Ainsi, la spécification recommandée devient:

$$2\,000/1 \text{ A; TPY; } K_{ssc} = 20; T_p = 80 \text{ ms}$$

$$R_b = 7 \text{ } \Omega; K_r \leq 0,1; T_s \geq 1,35 \text{ s}$$

Cycles de fonctionnement: F - 240 ms - 0

F - 120 ms - 0 - 450 ms - F - 60 ms - 0

NOTE - La procédure décrite ci-dessus peut être adaptée pour une asymétrie partielle, mais l'équivalence immédiatement après l'application du courant est problématique à cause de la nécessité de tenir compte de l'amplitude de la première crête du courant primaire appliqué.

For C-0 duty cycle: $t'_{al} = 240$ ms, whence:

$$K_{td} = 30$$

For C-0-C-0 duty cycle: $t' = 120$ ms, $t_{fr} = 450$ ms, $t'' = 60$ ms, whence:

$$K'_{tf} = 23,6 \text{ and } K''_{tf} = 15,5$$

$$K_{td} = 23,6 \cdot 0,685 + 15,5 = 31,7$$

$$\text{with } e^{-(t_{fr} + t'_{al}) / T_s} = 0,685$$

$$E_{al} = 31,7 \cdot \frac{40\,000}{2\,000} \cdot 10,5 = 6,7 \text{ kV (r.m.s.) or } 3,35 \text{ V/turn}$$

For a grain oriented silicon steel core of 10^4 mm^2 cross sectional area, approximately 4 V / turn is within theoretical capability. A specification based on the above-defined parametric limits would therefore be acceptable.

Step 5

Determination of E_{al} for actual service condition energizing current(s). Simplifying assumptions are: a) the effects of phase displacement between components are ignored and b) the maximum transient value attained to satisfy a current component is used for each energizing case considered as follows:

C-0 duty cycle:

$$\text{when } T_p = 240 \text{ ms, } K_{td} = K_{tf} = 44$$

$$\text{when } T_p = 60 \text{ ms, } K_{td} = K_{tf \text{ max}} = 17,3$$

$$E_{al} = \left[44 \cdot \frac{15\,000}{2\,000} + 17,3 \cdot \frac{20\,000}{2\,000} \right] \cdot 10,5 = 5\,282 \text{ V}$$

C-0-C-0 duty cycle:

$$\text{when } T_p = 240 \text{ ms, } K_{td} = 29,3 \cdot 0,685 + 17,3 = 37,4$$

$$\text{when } T_p = 60 \text{ s, } K_{td} = 16,4 \cdot 0,685 + 12,6 = 23,8$$

$$E_{al} = \left[37,4 \cdot \frac{15\,000}{2\,000} + 23,8 \cdot \frac{20\,000}{2\,000} \right] \cdot 10,5 = 5\,444 \text{ V}$$

From the above combinations of parameters, some further refinement of the specification from step 4 could be considered. For example, a reduction of T_p to 80 ms would result in a reduction of the theoretical value for E_{al} to about 6,1 kV whence the recommended specification becomes:

$$2\,000 / 1 \text{ A; TPY; } K_{ssc} = 20; T_p = 80 \text{ ms}$$

$$R_b = 7 \Omega; K_r \leq 0,1; T_s \geq 1,35 \text{ s}$$

Duty cycles: C - 240 ms - 0

C - 120 ms - 0 - 450 ms - C - 60 ms - 0

NOTE - The foregoing procedures may be adapted for partial offset but equivalence immediately after energization is problematic because of the need to take account of the amplitude of the first peak of primary energizing current.

D.5 Effets d'influence du conducteur de retour

Un transformateur de courant de type torique avec un enroulement secondaire uniformément réparti et ayant un seul conducteur primaire de type barre traversante placé suivant l'axe géométrique de la partie active sera du type à faible flux de fuites sauf s'il est influencé par un conducteur avoisinant.

Pendant un essai direct, l'erreur enregistrée sera la somme d'une composante apériodique et d'une composante alternative à la fréquence assignée. La composante alternative devrait être strictement proportionnelle au courant d'excitation correspondant. Dans les installations d'essais courantes, néanmoins, la composante alternative du courant d'erreur peut aussi contenir une composante dont l'amplitude est déterminée par une différence de rapports entre le signal obtenu à partir du transformateur de courant en essai et le signal représentant le courant primaire appliqué.

Pour cette raison, il est parfois préférable de fonder l'analyse de l'enregistrement d'essai sur l'estimation de la composante apériodique considérée dans le domaine de fonctionnement hors saturation.

Lorsque, cependant, il y a un autre conducteur, parcouru par le courant, à l'extérieur mais avoisinant le tore du transformateur de courant, comme dans le cas d'un enroulement primaire de type épingle à cheveux ou anneau, le flux dû au second conducteur influence aussi le circuit magnétique. L'effet principal de ceci est de provoquer une saturation locale prématurée sur une partie du circuit magnétique avec comme conséquence une modification de la caractéristique de fonctionnement.

Au cours d'un essai direct, les effets apparaîtront tout à fait clairement sur l'enregistrement du courant d'erreur sur lequel la composante alternative présentera une série de pointes de courte durée augmentant graduellement, se superposant à la forme sinusoïdale de base.

Avant le début de la saturation, l'erreur apériodique mesurée peut très bien être quelque peu inférieure à celle qui pourrait être déduite d'une estimation de la tension induite au secondaire en comparaison avec le courant d'excitation correspondant fourni par l'essai (indirect) d'excitation par le secondaire.

L'utilisation d'enroulements bobinés en «tas» disposés de manière à obtenir une distribution des spires secondaires qui théoriquement correspond à la distribution effective des ampères-tours lorsqu'on tient compte des effets du conducteur de retour et l'utilisation d'enroulements de compensation sont les deux méthodes par lesquelles le comportement du transformateur de courant peut être amélioré, et ainsi le facteur de construction (F_c) être réduit corrélativement en comparaison avec une conception dans laquelle on utilise simplement un enroulement secondaire uniformément réparti.

Pour les conceptions dans lesquelles un enroulement secondaire non uniformément réparti est délibérément utilisé, il est important de s'assurer pour tous les appareils fabriqués que les transformateurs de courant sont correctement positionnés par rapport aux conducteurs primaires d'alimentation. La mesure des caractéristiques d'excitation par le secondaire n'offre habituellement pas d'assurance à cet égard et des contrôles stricts pendant la période de montage peuvent être nécessaires.

D.5 Influencing effects of return conductor

A ring-type current transformer with a uniformly distributed secondary winding and having a single bar type primary conductor passing through the geometric centre of the assembly will be of the low leakage flux type unless influenced by a nearby conductor.

During a direct test, the recorded error will be composed of a d.c. component plus a superimposed a.c. component of rated frequency. The a.c. component should be strictly proportional to the corresponding magnetization current. In a practical test installation, however, the a.c. component of error current may also contain a component of magnitude determined by ratio differences between the measurement derived from the tested current transformer and the measurement representing the primary energizing current.

For this reason, it is sometimes advantageous to base assessment of the test record on the estimated d.c. component over the unsaturated range of operation.

When, however, there is another current carrying conductor outside but adjacent to the current transformer ring, as in the case of a hairpin or ring-type primary winding, flux due to the second conductor also impinges upon the core. The principal effect of this is to cause premature local saturation over part of the core with a consequential change in the operating characteristic.

During a direct test, the effects will be shown quite clearly in the record of the error current in which the a.c. component will show a series of gradually increasing peaks of short duration superimposed on the basic sinusoidal shape.

Prior to the onset of saturation, the measured d.c. error may well be somewhat less than would be anticipated from an estimate of the secondary induced voltage compared with the corresponding magnetizing current from the secondary excitation (indirect) test.

The application of "stacked" windings so arranged as to achieve a secondary turns distribution which theoretically corresponds to the net ampere turn distribution when account is taken of the return conductor effects and the application of flux equalizing windings are both methods by which the current transformer performance can be improved, and hence the factor of construction (F_c) correspondingly reduced compared with a design having a simple uniformly distributed secondary winding.

For designs in which a non-uniformly distributed secondary winding is deliberately used, it is important to ensure that the current transformers are correctly located relative to the primary energizing conductors on all production units. Measurement of secondary excitation characteristics does not usually assist in this respect and rigid controls during the construction period may be needed.

Annexe E

Détermination de l'erreur sur le rapport des nombres de spires

Il n'y a aucune méthode directe simple qui permette de déterminer d'une façon précise l'erreur sur le rapport des nombres de spires d'un transformateur de courant terminé. Le rapport réel de transformation est affecté par des erreurs provenant de trois causes:

- a) la différence entre le 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 de fuites associées aux enroulements.

La figure E1 représente un schéma de base simplifié d'un transformateur de courant dans lequel ne figurent que les éléments résistifs et inductifs, tandis que la figure E2 représente en plus les capacités parasites qui peuvent ne pas être négligeables pour les transformateurs de courant ayant un grand nombre de spires (supérieur à 1 000).

Si l'erreur de rapport de transformation est faible (par exemple 1 %) il est raisonnable de supposer que pour une valeur donnée (E_s) de la f.é.m. induite dans l'enroulement secondaire, les courants d'erreur résultant des capacités parasites de l'excitation du circuit magnétique conservent une valeur constante indépendante de la valeur du courant primaire appliqué (I_p).

E_s peut théoriquement être maintenue à une valeur constante pour une étendue de variation des courants appliqués pourvu que l'impédance de la boucle secondaire puisse être ajustée de façon appropriée. Pour des transformateurs de courant conçus pour être du type à faible flux de fuites (par exemple classe TPS) la réactance de fuites du secondaire peut être ignorée. Il n'y a donc à considérer que la résistance de l'enroulement secondaire. Ainsi, pour n'importe lequel de deux courants I'_s et I''_s , l'équation de base définissant l'exigence de l'essai est donnée par:

$$I'_s (R_{ct} + R'_b) = E_s = I''_s (R_{ct} + R''_b)$$

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

$$(\epsilon'_c - \epsilon_t) \frac{K_n I'_s}{100} = I_x = (\epsilon''_c - \epsilon_t) \cdot K_n \frac{I''_s}{100}$$

d'où:

$$\epsilon_t = \frac{\epsilon'_c I'_s - \epsilon''_c I''_s}{(I'_s - I''_s)}$$

Annex E

Determination of turns ratio error

There is no simple direct method of precisely determining the turns ratio error on a completed current transformer. The actual transformation ratio is affected by errors from three sources:

- the difference between the turns ratio and the rated transformation ratio;
- the core excitation current (I_e);
- the currents which flow in the stray capacitances associated with the windings.

Figure E1 illustrates a simplified basic circuit for a current transformer resistive and reactive components whilst figure E2 is expanded to represent the stray capacitances which may be of significance for current transformers having a large number of turns (more than 1 000).

If the transformation ratio error is small (e.g. 1 %) it is reasonable to assume that for a given secondary winding induced e.m.f. (E_s), the error currents due to stray capacitances and core magnetization will maintain a constant value irrespective of the value of the primary energizing current (I_p).

E_s can theoretically be maintained at a constant value for a range of energizing currents provided that the secondary loop impedance can be appropriately adjusted. For current transformers designed to be of the low leakage flux type (e.g. class TPS) the secondary leakage reactance can be ignored and only the secondary winding resistance considered. Thus, for any two currents I'_s and I''_s the basic equation defining the test requirement is given by:

$$I'_s (R_{ct} + R'_b) = E_s = I''_s (R_{ct} + R''_b)$$

Assuming that the measured ratio errors are ϵ'_c and ϵ''_c the turns ratio error is denoted as ϵ_t and the combined magnetization and stray currents are given by I_x , the respective error currents will be approximately given by:

$$(\epsilon'_c - \epsilon_t) \frac{K_n I'_s}{100} = I_x = (\epsilon''_c - \epsilon_t) \cdot K_n \frac{I''_s}{100}$$

whence:

$$\epsilon_t = \frac{\epsilon'_c I'_s - \epsilon''_c I''_s}{(I'_s - I''_s)}$$

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

Des résultats satisfaisants seront en principe obtenus à partir d'un essai au courant assigné avec une charge minimale connectée aux bornes secondaires suivi par un essai à la moitié du courant assigné et avec l'augmentation convenable de la résistance de la boucle du circuit secondaire.

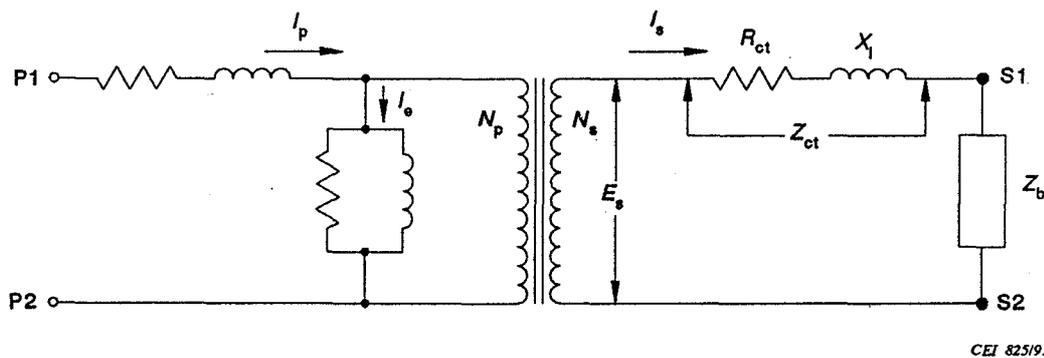


Figure E1 – Circuit équivalent simplifié pour un transformateur de courant

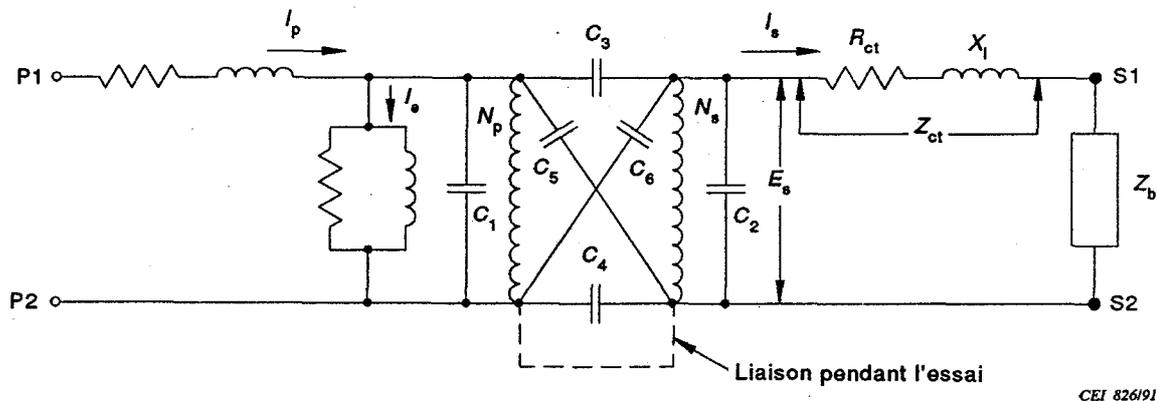


Figure E2 – Circuit équivalent simplifié pour un transformateur de courant avec capacités parasites

If $I'_s = 2 I''_s$ the turns ratio error is given approximately by $2 \epsilon'_c - \epsilon''_c$.

A test at rated current with minimum secondary connected burden followed by a test at half rated current and suitable increase in secondary loop resistance will usually give satisfactory results.

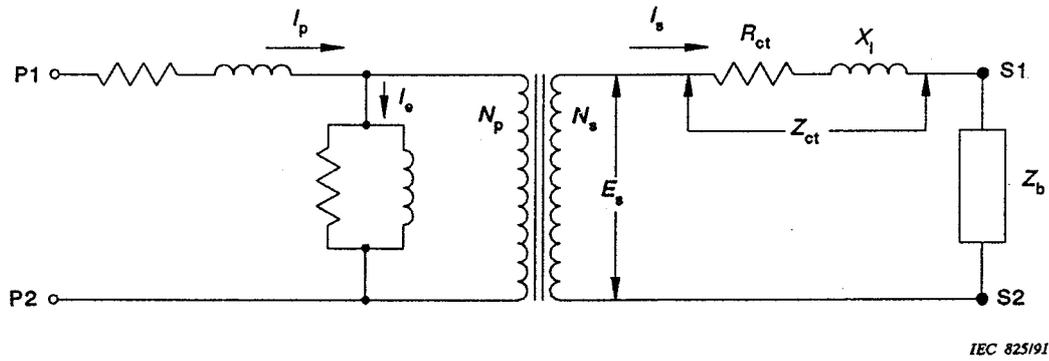


Figure E1 – Simplified equivalent circuit for a current transformer

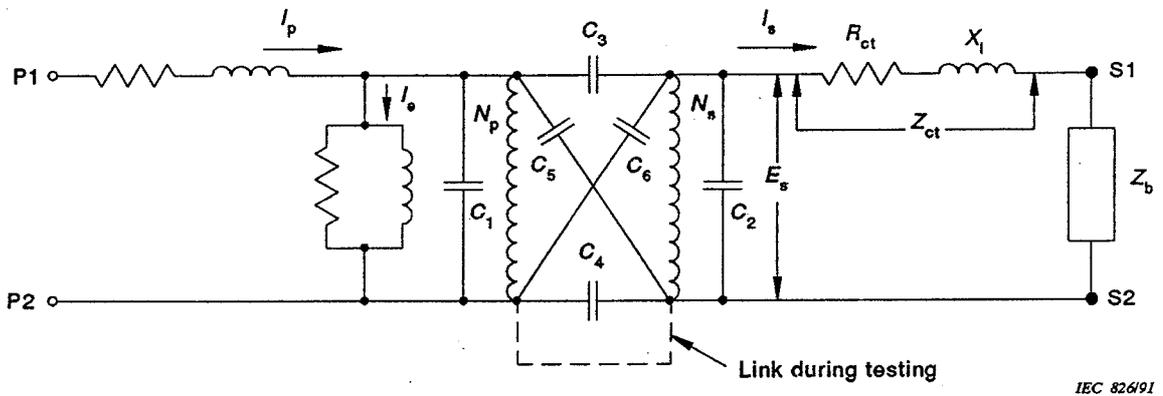


Figure E2 – Simplified equivalent circuit for a current transformer with stray capacitances

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

ICS 17.220.20
