

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60076-4

Première édition
First edition
2002-06

Transformateurs de puissance –

**Partie 4:
Guide pour les essais au choc de foudre
et au choc de manoeuvre –
Transformateurs de puissance
et bobines d'inductance**

Power transformers –

**Part 4:
Guide to the lightning impulse and
switching impulse testing –
Power transformers and reactors**

© IEC 2002 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.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XB**

For price, see current catalogue

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	6
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	10
3 Généralités	12
4 Formes d'onde spécifiées	12
5 Circuit d'essai	12
6 Etalonnage	16
7 Essais d'impulsion de choc de foudre	16
7.1 Formes d'onde	16
7.2 Impulsions hachées sur la traîne	18
7.3 Raccordements aux bornes et méthodes applicables de détection de défaillances	20
7.4 Méthodes d'essai	22
7.5 Enregistrement des essais	24
8 Essais d'impulsion de choc de manœuvre	30
8.1 Prescriptions particulières	30
8.2 Transformateurs	30
8.3 Bobines d'inductance	38
9 Interprétation des oscillogrammes ou des enregistrements numériques	42
9.1 Impulsion de choc de foudre	42
9.2 Impulsion de choc de manœuvre	46
10 Traitement numérique, comprenant l'analyse de fonction de transfert	48
11 Rapports d'essai de l'impulsion de choc	52
Annexe A (informative) Principes de contrôle de la forme d'onde	62
Annexe B (informative) Oscillogrammes et enregistrements numériques typiques	76
Figure 1 – Circuit d'essai d'impulsion de choc typique	54
Figure 2 – Raccordements aux bornes pour l'essai d'impulsion de choc de foudre et méthodes applicables de détection de défaillances	56
Figure 3 – Formes d'onde de l'impulsion de choc de manœuvre de transformateur et de bobine d'inductance	58
Figure 4 – Raccordements aux bornes pour l'essai d'impulsion de choc de manœuvre et méthodes de détection de défaillances	60
Figure A.1 – Contrôle de la forme d'onde pour des enroulements d'impédance élevée	62
Figure A.2 – Contrôle de la queue d'onde pour des enroulements d'impédance faible	66
Figure A.3 – Oscillation amortie	68
Figure A.4 – Effets dus à la courte longueur de la queue d'onde	72
Figure A.5 – Enroulement mis à la terre par une résistance	74
Figure A.6 – Mise à la terre par résistance des enroulements à basse d'impédance	74
Figure B.1 – Impulsion de choc de foudre, défaillance pleine onde – Claquage ligne au neutre à travers l'enroulement haute tension du transformateur rotatif 400 kV	80
Figure B.2 – Impulsion de choc de foudre, défaillance pleine onde – Claquage entre disques à l'entrée de l'enroulement haute tension du transformateur 115 kV	82

CONTENTS

FOREWORD	7
1 Scope	11
2 Normative references	11
3 General	13
4 Specified waveshapes	13
5 Test circuit	13
6 Calibration	17
7 Lightning impulse tests	17
7.1 Waveshapes	17
7.2 Impulses chopped on the tail	19
7.3 Terminal connections and applicable methods of failure detection	21
7.4 Test procedures	23
7.5 Recording of tests	25
8 Switching impulse tests	31
8.1 Special requirements	31
8.2 Transformers	31
8.3 Reactors	39
9 Interpretation of oscillograms or digital recordings	43
9.1 Lightning impulse	43
9.2 Switching impulse	47
10 Digital processing, including transfer function analysis	49
11 Impulse test reports	53
Annex A (informative) Principles of waveshape control	63
Annex B (informative) Typical oscillograms and digital recordings	77
Figure 1 – Typical impulse test circuit	55
Figure 2 – Lightning impulse test terminal connections and applicable methods of failure detection	57
Figure 3 – Transformer and reactor switching impulse waveshapes	59
Figure 4 – Switching impulse test terminal connections and methods of failure detection	61
Figure A.1 – Waveshape control for high-impedance windings	63
Figure A.2 – Wavetail control for low impedance windings	67
Figure A.3 – Damped oscillation	69
Figure A.4 – Effects due to short length of wavetail	73
Figure A.5 – Winding earthed through a resistor	75
Figure A.6 – Resistance earthing of low-impedance windings	75
Figure B.1 – Lightning impulse, full-wave failure – Line-to-neutral breakdown across high-voltage winding of 400 kV generator transformer	81
Figure B.2 – Lightning impulse, full-wave failure – Breakdown between discs at entrance to high-voltage winding of 115 kV transformer	83

Figure B.3 – Impulsion de choc de foudre, claquage entre couches, dans l'enroulement à prises à pas grossier d'un transformateur 400/220 kV	84
Figure B.4 – Impulsion de choc de foudre, défaillance pleine onde – Claquage entre les fils de deux sections 1,1 % de l'enroulement à prises extérieur du transformateur rotatif 400 kV	86
Figure B.5 – Impulsion de choc de foudre, défaillance pleine onde – Claquage court-circuitant une section de l'enroulement à prises à pas fin d'un transformateur 220 kV	88
Figure B.6 – Impulsion de choc de foudre, défaillance pleine onde – Claquage entre les conducteurs parallèles dans un enroulement principal à haute tension d'un transformateur 220/110 kV	90
Figure B.7 – Impulsion de choc de foudre, défaillance pleine onde – Claquage entre clinquants de bague 66 kV sur l'enroulement essayé	92
Figure B.8 – Impulsion de choc de foudre, défaillance onde hachée – Claquage entre spires dans l'enroulement principal à haute tension d'un transformateur 115 kV	94
Figure B.9 – Impulsion de choc de foudre, défaillance onde hachée – Claquage entre spires dans un enroulement à prises à pas fin d'un transformateur 220 kV	96
Figure B.10 – Impulsion hachée de choc de foudre – Impulsions à différents niveaux de tension avec des temps de hachage identiques, lors des essais d'un transformateur 115 kV	98
Figure B.11 – Impulsion hachée de choc de foudre – Effets des différences dans les temps de hachage lors des essais d'un transformateur 220 kV	100
Figure B.12 – Pleine impulsion de choc de foudre – Effet des résistances non linéaires incorporées dans la sortie du neutre du changeur de prises en charge, d'un transformateur avec des enroulements séparés	102
Figure B.13 – Pleine impulsion de choc de foudre – Effet des différences de démarrage des étages du générateur à différents niveaux de tension, lors des essais d'un transformateur 400 kV	104
Figure B.14 – Impulsion de choc de manœuvre – Essai satisfaisant sur un transformateur rotatif triphasé 400 kV	106
Figure B.15 – Impulsion de choc de manœuvre – Claquage par amorçage axial de l'enroulement principal à haute tension d'un transformateur rotatif monophasé 525 kV	108
Figure B.16 – Impulsion de choc de manœuvre – Essai satisfaisant sur une bobine d'inductance monophasée 525 kV, 33 Mvar	110
Figure B.17 – Impulsion de choc de manœuvre – Comparaison de la fonction de transfert d'une pleine onde et d'une onde hachée	112
Figure B.18 – Pleine impulsion de choc de foudre – Evaluation d'une forme d'onde non normalisée – Influence des algorithmes de lissage intégrés dans les numériseurs	114
Figure B.19 – Pleine impulsion de choc de foudre – Forme d'onde non normalisée, oscillations superposées avec amplitude >50 % et fréquence <0,5 MHz	114
Figure B.20 – Impulsion hachée de choc de foudre – Onde hachée non normalisée sur un enroulement de type couche	116
Figure B.21 – Pleine impulsion de choc de foudre – Forme d'onde non normalisée, comparaison de formes d'onde non normalisées avec des numériseurs de différentes fabrications à partir du même enregistrement	118
Figure B.22 – Pleine impulsion de choc de foudre – Problème de circuit d'essai provoqué par un amorçage à la terre d'un câble de mesure	120
Figure B.23 – Pleine impulsion de choc de foudre – Oscillogramme de défaillance montrant un amorçage de fil de changeur de prises entre prises et un amorçage entre enroulement des pas grossier et fin	122
Tableau B.1 – Sommaire des exemples illustrés par les oscillogrammes et les enregistrements numériques	76

Figure B.3 – Lightning impulse, interlayer breakdown in coarse-step tapping winding of a 400/220 kV transformer.....	85
Figure B.4 – Lightning impulse, full-wave failure – Breakdown between leads of two 1,1 % sections of outside tapping winding of 400 kV generator transformer.....	87
Figure B.5 – Lightning impulse, full-wave failure – Breakdown short-circuiting one section of the fine-step tapping winding of a 220 kV transformer.....	89
Figure B.6 – Lightning impulse, full-wave failure – Breakdown between parallel conductors in a multi-conductor main high-voltage winding of a 220/110 kV transformer.....	91
Figure B.7 – Lightning impulse, full-wave failure – Breakdown between foils of 66 kV bushing on tested winding.....	93
Figure B.8 – Lightning impulse, chopped-wave failure – Breakdown between turns in the main high-voltage winding of a 115 kV transformer.....	95
Figure B.9 – Lightning impulse, chopped-wave failure – Breakdown between turns in a fine-step tapping winding of a 220 kV transformer.....	97
Figure B.10 – Chopped lightning impulse – Impulses at different voltage levels with identical times to chopping when testing a 115 kV transformer.....	99
Figure B.11 – Chopped lightning impulse – Effects of differences in times to chopping when testing a 220 kV transformer.....	101
Figure B.12 – Full lightning impulse – Effect of non-linear resistors embodied in neutral end on-load tap-changer of a transformer with separate windings.....	103
Figure B.13 – Full lightning impulse – Effect of generator firing differences at different voltage levels when testing a 400 kV transformer.....	105
Figure B.14 – Switching impulse – Satisfactory test on a 400 kV three-phase generator transformer.....	107
Figure B.15 – Switching impulse – Breakdown by axial flashover of the main high-voltage winding of a 525 kV single-phase, generator transformer.....	109
Figure B.16 – Switching impulse – Satisfactory test on a 33 Mvar, 525 kV single-phase shunt reactor.....	111
Figure B.17 – Lightning impulse – Comparison of the transfer function of a full wave and a chopped wave.....	113
Figure B.18 – Full lightning impulse – Evaluation of a non-standard waveshape – Influence of in-built smoothing algorithms in digitizers.....	115
Figure B.19 – Full lightning impulse – Non-standard waveshape, superimposed oscillations with >50 % amplitude and frequency <0,5 MHz.....	115
Figure B.20 – Chopped lightning impulse – Non-standard chopped wave on a layer type winding.....	117
Figure B.21 – Full lightning impulse – Non-standard waveshape, comparison of non-standard waveshapes by digitizers of different make from the same recording.....	119
Figure B.22 – Full lightning impulse – Test-circuit problem caused by a sparkover to earth from a measuring cable.....	121
Figure B.23 – Full lightning impulse – Failure digital recordings of a flashover between tap leads of a tap changer and of a flashover between coarse and fine tapping winding.....	123
Table B.1 – Summary of examples illustrated in oscillograms and digital recordings.....	77

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 4: Guide pour les essais au choc de foudre et au choc de manœuvre – Transformateurs de puissance et bobines d'inductance

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60076-4 a été établie par le comité d'études 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

Cette norme internationale annule et remplace la CEI 60722 publiée en 1982 dont elle constitue une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
14/413/FDIS	14/446/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Les annexes A et B sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS –

**Part 4: Guide to the lightning impulse and switching impulse testing –
Power transformers and reactors**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60076-4 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers.

This International Standard cancels and replaces IEC 60722 published in 1982 and constitutes a technical revision of that document.

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

FDIS	Report on voting
14/413/FDIS	14/446/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Annexes A and B are for information only.

La CEI 60076 se compose des parties suivantes, sous le titre général *Transformateurs de puissance*:

Partie 1: Généralités

Partie 2: Echauffement

Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air

Partie 4: Guide pour les essais au choc de foudre et au choc de manœuvre – Transformateurs de puissance et bobines d'inductance

Partie 5: Tenue au court-circuit

Partie 8: Guide d'application

Partie 10: Détermination des niveaux de bruit (disponible en anglais seulement)

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2007. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IEC 60076 consists of the following parts, under the general title *Power transformers*:

- Part 1: General
- Part 2: Temperature rise
- Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air
- Part 4: Guide to lightning impulse and switching impulse testing – Power transformers and reactors
- Part 5: Ability to withstand short-circuit
- Part 8: Application guide
- Part 10: Determination of sound levels

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 4: Guide pour les essais au choc de foudre et au choc de manœuvre – Transformateurs de puissance et bobines d'inductance

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60076 donne des directives et des commentaires explicatifs sur les méthodes d'essais d'impulsions de choc de foudre et de manœuvre existantes pour les transformateurs de puissance, afin de compléter les prescriptions de la CEI 60076-3. Il est également généralement applicable aux essais des bobines d'inductance (voir la CEI 60289): Les modifications aux méthodes des transformateurs de puissance sont indiquées, si nécessaire.

Des informations sont données sur les formes d'onde, les circuits d'essai comprenant les connexions d'essai, les pratiques de mise à la terre, les méthodes de détection de défaillance, les méthodes d'essai, les techniques de mesurage et l'interprétation des résultats.

Partout où elles sont applicables, les techniques d'essai sont celles qui sont recommandées par la CEI 60060-1 et la CEI 60060-2.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60060-1, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 60060-2, *Techniques des essais à haute tension – Partie 2: Systèmes de mesure*

CEI 60076-3, *Transformateurs de puissance – Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air*

CEI 60289, *Bobines d'inductance*

CEI 61083-1, *Appareils et logiciels utilisés pour les mesures pendant les essais de choc à haute tension – Partie 1: Prescriptions pour les appareils*

CEI 61083-2, *Enregistreurs numériques pour les mesures pendant les essais de choc à haute tension – Partie 2: Evaluation du logiciel utilisé pour obtenir les paramètres des formes d'onde de choc*

POWER TRANSFORMERS –

Part 4: Guide to the lightning impulse and switching impulse testing – Power transformers and reactors

1 Scope

This part of IEC 60076 gives guidance and explanatory comments on the existing procedures for lightning and switching impulse testing of power transformers to supplement the requirements of IEC 60076-3. It is also generally applicable to the testing of reactors (see IEC 60289), modifications to power transformer procedures being indicated where required.

Information is given on waveshapes, test circuits including test connections, earthing practices, failure detection methods, test procedures, measuring techniques and interpretation of results.

Where applicable, the test techniques are as recommended in IEC 60060-1 and IEC 60060-2.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60060-1, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60060-2, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems*

IEC 60076-3, *Power transformers – Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air*

IEC 60289, *Reactors*

IEC 61083-1, *Instruments and software used for measurement in high-voltage impulse tests – Part 1: Requirements for instruments*

IEC 61083-2, *Digital recorders for measurements in high-voltage impulse tests – Part 2: Evaluation of software used for the determination of the parameters of impulse waveforms*