

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

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

## EESTI STANDARDI EESSÕNA

## NATIONAL FOREWORD

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Käesolev Eesti standard EVS-EN 60076-4:2003 sisaldab Euroopa standardi EN 60076-4:2002 ingliskeelset teksti.</p> <p>Käesolev dokument on jõustatud 05.02.2003 ja selle kohta on avaldatud teade Eesti standardiorganisatsiooni ametlikus väljaandes.</p> <p>Standard on kättesaadav Eesti standardiorganisatsioonist.</p> | <p>This Estonian standard EVS-EN 60076-4:2003 consists of the English text of the European standard EN 60076-4:2002.</p> <p>This document is endorsed on 05.02.2003 with the notification being published in the official publication of the Estonian national standardisation organisation.</p> <p>The standard is available from Estonian standardisation organisation.</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Käsitlusala:</b></p> <p>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. 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.</p> | <p><b>Scope:</b></p> <p>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. 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.</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

ICS 29.180

**Võtmesõnad:** electri, electric coils, electrically- operated devices, electrically-opera, guide books, impulse voltages, impulse-voltage tests, inductors, lightning surge voltages, power transformers, switching impulse voltages, testing, transformers, voltage fluctuations

**Power transformers**  
**Part 4: Guide to the lightning impulse and switching impulse testing -**  
**Power transformers and reactors**  
(IEC 60076-4:2002)

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  
(CEI 60076-4:2002)

Leistungstransformatoren  
Teil 4: Leitfaden zur Blitz-  
und Schaltstoßspannungsprüfung  
von Leistungstransformatoren  
und Drosselspulen  
(IEC 60076-4:2002)

This European Standard was approved by CENELEC on 2002-09-01. CENELEC members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration.

Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Central Secretariat or to any CENELEC member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CENELEC member into its own language and notified to the Central Secretariat has the same status as the official versions.

CENELEC members are the national electrotechnical committees of Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Portugal, Slovakia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

## CENELEC

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

**Central Secretariat: rue de Stassart 35, B - 1050 Brussels**

### Foreword

The text of document 14/413/FDIS, future edition 1 of IEC 60076-4, prepared by IEC TC 14, Power transformers, was submitted to the IEC-CENELEC parallel vote and was approved by CENELEC as EN 60076-4 on 2002-09-01.

The following dates were fixed:

- latest date by which the EN has to be implemented  
at national level by publication of an identical  
national standard or by endorsement (dop) 2003-06-01
- latest date by which the national standards conflicting  
with the EN have to be withdrawn (dow) 2005-09-01

Annexes designated "normative" are part of the body of the standard.

Annexes designated "informative" are given for information only.

In this standard, annex ZA is normative and annexes A and B are informative.

Annex ZA has been added by CENELEC.

---

### Endorsement notice

The text of the International Standard IEC 60076-4:2002 was approved by CENELEC as a European Standard without any modification.

---

## Annex ZA (normative)

### Normative references to international publications with their corresponding European publications

This European Standard incorporates by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this European Standard only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references the latest edition of the publication referred to applies (including amendments).

NOTE When an international publication has been modified by common modifications, indicated by (mod), the relevant EN/HD applies.

| <u>Publication</u> | <u>Year</u>     | <u>Title</u>                                                                                                                                                         | <u>EN/HD</u> | <u>Year</u>        |
|--------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------|
| IEC 60060-1        | - <sup>1)</sup> | High-voltage test techniques<br>Part 1: General definitions and test requirements                                                                                    | HD 588.1 S1  | 1991 <sup>2)</sup> |
| IEC 60060-2        | - <sup>1)</sup> | Part 2: Measuring systems                                                                                                                                            | EN 60060-2   | 1994 <sup>2)</sup> |
| IEC 60076-3        | - <sup>1)</sup> | Power transformers<br>Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air                                                                     | EN 60076-3   | 2001 <sup>2)</sup> |
| IEC 60289          | - <sup>1)</sup> | Reactors                                                                                                                                                             | EN 60289     | 1994 <sup>2)</sup> |
| IEC 61083-1        | - <sup>1)</sup> | Instruments and software used for measurement in high-voltage impulse tests<br>Part 1: Requirements for instruments                                                  | EN 61083-1   | 2001 <sup>2)</sup> |
| IEC 61083-2        | - <sup>1)</sup> | Digital recorders for measurements in high-voltage impulse tests<br>Part 2: Evaluation of software used for the determination of the parameters of impulse waveforms | EN 61083-2   | 1997 <sup>2)</sup> |

---

<sup>1)</sup> Undated reference.

<sup>2)</sup> Valid edition at date of issue.

**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**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60076-4:2002

## Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

## Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

## Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI ([www.iec.ch/catlg-f.htm](http://www.iec.ch/catlg-f.htm)) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues ([www.iec.ch/JP.htm](http://www.iec.ch/JP.htm)) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tél: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

## Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

## Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

## Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site ([www.iec.ch/catlg-e.htm](http://www.iec.ch/catlg-e.htm)) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications ([www.iec.ch/JP.htm](http://www.iec.ch/JP.htm)) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tel: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

**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**

Pour prix, voir catalogue en vigueur  
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<br>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<br>et méthodes applicables de détection de défaillances .....                                 | 56 |
| Figure 3 – Formes d'onde de l'impulsion de choc de manœuvre de transformateur<br>et de bobine d'inductance .....                                                             | 58 |
| Figure 4 – Raccordements aux bornes pour l'essai d'impulsion de choc de manœuvre<br>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<br>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<br>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<br>of failure detection .....                                        | 57 |
| Figure 3 – Transformer and reactor switching impulse waveshapes .....                                                                              | 59 |
| Figure 4 – Switching impulse test terminal connections and methods<br>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<br>across high-voltage winding of 400 kV generator transformer ..... | 81 |
| Figure B.2 – Lightning impulse, full-wave failure – Breakdown between discs<br>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*