

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 56-4A

1974

Premier complément à la Publication 56-4 (1972)

Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension

Quatrième partie: Essais de type et essais individuels

Annexe E - Méthodes de détermination des ondes de la tension transitoire de rétablissement présumée

First supplement to Publication 56-4 (1972)

High-voltage alternating-current circuit-breakers

Part 4: Type tests and routine tests

Appendix E - Methods of determining prospective transient recovery voltage waves



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
Publié trimestriellement
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Symboles graphiques et littéraux

Seuls les symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication.

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI.

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI.

Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les autres publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

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

- **IEC Bulletin**
Published quarterly
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication.

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117.

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27.

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 56-4A

1974

Premier complément à la Publication 56-4 (1972)

Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension

Quatrième partie: Essais de type et essais individuels

Annexe E - Méthodes de détermination des ondes de la tension transitoire de rétablissement présumée

First supplement to Publication 56-4 (1972)

High-voltage alternating-current circuit-breakers

Part 4: Type tests and routine tests

Appendix E - Methods of determining prospective transient recovery voltage waves



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

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4

ANNEXE E — MÉTHODES DE DÉTERMINATION DES ONDES DE LA TENSION TRANSITOIRE DE RÉTABLISSEMENT PRÉSUMÉE

Articles

1. Introduction	6
2. Résumé général des méthodes recommandées	8
3. Etude détaillée des méthodes recommandées	8
3.1 Groupe 1 — Coupure directe d'un courant de court-circuit	8
3.2 Groupe 2 — Injection de courant à fréquence industrielle	10
3.3 Groupe 3 — Injection de courant de condensateur	12
3.4 Groupes 2 et 3 — Méthodes d'étalonnage	14
3.5 Groupe 4 — Modèles de réseaux	14
3.6 Groupe 5 — Calcul à partir des paramètres du circuit	16
3.7 Groupe 6 — Enclenchement à vide de réseaux d'essai comprenant des transformateurs	16
4. Comparaison des méthodes	16
FIGURES	22

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5

APPENDIX E — METHODS OF DETERMINING PROSPECTIVE TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE WAVES

Clause	
1. Introduction	7
2. General summary of the recommended methods	9
3. Detailed consideration of the recommended methods	9
3.1 Group 1 — Direct short-circuit switching	9
3.2 Group 2 — Power-frequency current injection	11
3.3 Group 3 — Capacitance current injection	13
3.4 Groups 2 and 3 — Methods of calibration	15
3.5 Group 4 — Model networks	15
3.6 Group 5 — Calculation from circuit parameters	17
3.7 Group 6 — No-load switching of testing systems including transformers	17
4. Comparison of the methods	17
FIGURES	22

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**PREMIER COMPLÉMENT À LA PUBLICATION 56-4 (1972)
DISJONCTEURS À COURANT ALTERNATIF À HAUTE TENSION**

QUATRIÈME PARTIE: ESSAIS DE TYPE ET ESSAIS INDIVIDUELS

Annexe E: Méthodes de détermination des ondes de la tension transitoire de rétablissement présumée

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparées 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.

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Sous-Comité 17 A: Appareillage à haute tension, du Comité d'Etudes N° 17 de la CEI: Appareillage.

Un premier projet a été discuté lors de la réunion de Washington en 1970.

A la suite de cette réunion, un nouveau projet, document 17A(Bureau Central)101, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1973.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')
Allemagne
Australie
Belgique
Canada
Danemark
Espagne
Etats-Unis d'Amérique
Finlande
France
Israël

Japon
Pologne
Portugal
Roumanie
Royaume-Uni
Suède
Suisse
Turquie
Union des Républiques
Socialistes Soviétiques
Yougoslavie

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**FIRST SUPPLEMENT TO PUBLICATION 56-4 (1972)
HIGH-VOLTAGE ALTERNATING-CURRENT CIRCUIT-BREAKERS**

PART 4: TYPE TESTS AND ROUTINE TESTS

Appendix E: Methods of determining prospective transient recovery voltage waves

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 recommendations and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This recommendation has been prepared by Sub-Committee 17A, High-voltage Switchgear and Controlgear, of IEC Technical Committee No. 17, Switchgear and Controlgear.

A first draft was discussed at the meeting held in Washington in 1970.

As a result of this meeting, a new draft, document 17A(Central Office)101, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1973.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Romania
Belgium	South Africa (Republic of)
Canada	Spain
Denmark	Sweden
Finland	Switzerland
France	Turkey
Germany	United Kingdom
Israel	United States of America
Japan	Union of Soviet
Poland	Socialist Republics
Portugal	Yugoslavia

PREMIER COMPLÉMENT À LA PUBLICATION 56-4 (1972)
DISJONCTEURS À COURANT ALTERNATIF À HAUTE TENSION
QUATRIÈME PARTIE: ESSAIS DE TYPE ET ESSAIS INDIVIDUELS

Annexe E: Méthodes de détermination des ondes de la tension transitoire de rétablissement présumée

Page 114

Remplacer « A l'étude » par le texte suivant:

ANNEXE E

**MÉTHODES DE DÉTERMINATION DES ONDES DE LA TENSION TRANSITOIRE
DE RÉTABLISSEMENT PRÉSUMÉE**

1. Introduction

Les formes de l'onde de la tension transitoire de rétablissement (TTR) consécutives à la coupure de courants de court-circuit dépendent de deux facteurs principaux qui sont: ceux dépendant des caractéristiques du circuit (inductance, capacitance, résistance, impédance d'onde, etc.) et ceux provenant des caractéristiques du disjoncteur (tension d'arc, conductibilité post-arc, condensateurs et résistances intercalaires, etc.).

Il existe des méthodes recommandées pour déterminer la forme de l'onde de la TTR qui ne serait due qu'aux seules caractéristiques du circuit et qui constitue la TTR présumée.

Etant donné que tout dispositif de mesure a une influence sur la forme de l'onde de la TTR présumée, des précautions convenables et, éventuellement, des corrections sont nécessaires.

Il existe des méthodes utilisables pour l'évaluation de la TTR présumée aussi bien pour les circuits des stations d'essais de court-circuit que pour les réseaux, et les méthodes recommandées sont énumérées et décrites brièvement en tenant compte des caractéristiques de la TTR qui sont actuellement spécifiées pour les valeurs nominales et pour les essais.

L'expérience des stations d'essais et des réseaux a montré qu'après la coupure d'un courant de court-circuit, non seulement une oscillation à une seule ou à plusieurs fréquences se superpose à l'onde de tension à fréquence industrielle, mais qu'il existe également des composantes à caractère exponentiel et d'amplitude et de durée importantes. Ces dernières ont des constantes de temps qui dépendent des caractéristiques des éléments du circuit, par exemple alternateurs, transformateurs, lignes, etc. Ces composantes exponentielles ont pour effet de rendre la valeur de crête de la TTR et sa vitesse d'accroissement inférieures à celles qui existeraient si seules les composantes oscillatoires s'étaient superposées à la tension à fréquence industrielle. Ceci est indiqué sur la figure 1, page 22, et toute méthode de mesure doit tenir compte de cette influence.

Les mesures ont montré que l'inductance des divers éléments du circuit variait avec la fréquence, par suite de l'effet d'écran des courants de Foucault à l'intérieur des conducteurs, de la terre et des circuits magnétiques. En même temps que d'autres facteurs qui tendent à réduire les tensions instantanées, ceci introduit une constante de temps variant de centaines de microsecondes pour certains alternateurs jusqu'à des dizaines de microsecondes pour les transformateurs, les valeurs exactes dépendant de la conception du matériel particulier et de la fréquence des composantes de la TTR. Dans certains cas, il peut en résulter une réduction de la valeur de crête de la TTR atteignant 25%.

Il est donc important de tenir compte de ces facteurs pour l'évaluation de la TTR présumée d'une station d'essais ou d'un réseau et on donne des indications relatives aux méthodes recommandées.

Note. — Quelle que soit la méthode utilisée, les valeurs réelles de la TTR présumée mesurées dans la station d'essais doivent être conformes aux valeurs spécifiées dans la Publication 56 de la CEI: Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension (3^e édition).

Lorsque le temps t_2 de la crête de la TTR dépasse, par exemple 1 250 μ s, en plus des influences décrites précédemment, la valeur instantanée de la tension à fréquence industrielle a, dans tous les cas, déchu de plus de 6% à

FIRST SUPPLEMENT TO PUBLICATION 56-4 (1972) HIGH-VOLTAGE ALTERNATING-CURRENT CIRCUIT-BREAKERS

PART 4: TYPE TESTS AND ROUTINE TESTS

Appendix E: Methods of determining prospective transient recovery voltage waves

Page 115

Replace “Under consideration” by the following text:

APPENDIX E

METHODS OF DETERMINING PROSPECTIVE TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE WAVES

1. Introduction

The waveforms of the transient recovery voltage (TRV) resulting from the breaking of short-circuit currents depend on two main factors, namely: those dependent on the circuit characteristics (inductance, capacitance, resistance, surge impedance, etc.), and those arising from the circuit-breaker characteristics (arc voltage, post-arc conductivity, capacitors and switching resistors, etc.).

Methods are recommended for determining the waveform of the TRV as produced solely by the circuit characteristics, this being the “prospective TRV”.

Since any measuring device will have some effect upon the waveform of the prospective TRV, suitable precautions, and possibly corrections, are necessary.

Methods are available for the evaluation of the prospective TRV of both short-circuit test-plant circuits and power systems, and the recommended methods are enumerated and briefly described, taking into account the TRV characteristics which are now specified for rating and testing.

Experience on testing-plants and also on systems has shown that following the breaking of a short-circuit current, not only is a single or multi-frequency oscillation superimposed on the power-frequency voltage wave, but exponential components of substantial size and duration are also present. The latter have time constants which are dependent upon the characteristics of the components of the circuit, e.g., generators, transformers, lines, etc. These exponential components have the effect of depressing the peak value of the TRV and the rate-of-rise to below those which would have occurred if the oscillatory components alone had been superimposed on the power-frequency voltage. This is shown on Figure 1, page 22, and any method used for measurement must take this effect into account.

Measurements have shown that the inductance of the various circuit components varies with frequency, owing to the screening effects of eddy currents within the conductors, the earth and the magnetic circuits. Together with other factors tending to reduce instantaneous voltages, this introduces a time constant varying from hundreds of microseconds for some generators down to tens of microseconds for transformers, the exact values depending upon the design of the particular equipment and the frequency of the components of the TRV. In some cases this can result in a depression of the peak value of the TRV by as much as 25%.

It is therefore important that these factors are taken into account when assessing the prospective TRV of either a test-plant or system, and guidance is given in connection with the recommended methods.

Note. — Irrespective of the method used, the actual values measured in the test plant for the prospective TRV shall be in accordance with the values specified in IEC Publication 56: High-voltage Alternating-current Circuit-breakers (3rd edition).

Where the time co-ordinate t_2 of the crest of the TRV exceeds, say, 1 250 μs , then in addition to the effects described above, the instantaneous power-frequency voltage will, in any case, have decreased by more than 6%.

50 Hz et de plus de 10% à 60 Hz. On doit, par conséquent, prendre en considération cette influence supplémentaire lors de l'utilisation de méthodes de détermination de la TTR présumée faisant intervenir une tension de rétablissement à fréquence industrielle ou lorsqu'on effectue des calculs utilisant les constantes du circuit.

La valeur instantanée de la composante à fréquence industrielle qui suit immédiatement le passage à zéro du courant dépend également du facteur de puissance en court-circuit et du pourcentage de la composante apériodique de la dernière alternance du courant, et peut ainsi être inférieure à la pleine valeur de crête. Pour des courants symétriques et des facteurs de puissance en court-circuit égaux ou inférieurs à 0,15, la réduction ne dépasse pas 1,5% et est ainsi peu importante pour les circuits des stations d'essais; elle peut être importante pour les facteurs de puissance plus élevés qui peuvent exister en service.

Pour la TTR nominale correspondant aux défauts aux bornes (voir l'article 7 de la Publication 56-2 de la CEI: Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension — Caractéristiques nominales (3^e édition)), on a introduit un retard pour tenir compte de l'influence de la capacité localisée du côté de la source du disjoncteur. Les retards correspondants ont également été spécifiés pour les circuits d'essais qui s'y rapportent (voir paragraphe 7.5 de la Publication 56-4 de la CEI: Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension — Essais de type et essais individuels (3^e édition)). Il est recommandé d'utiliser pour la mesure de la TTR une méthode permettant de déterminer ces retards.

Pour certains disjoncteurs, les caractéristiques nominales pour les défauts en ligne sont également spécifiées (voir l'article 8 de la Publication 56-2 de la CEI) et la TTR présumée correspondant aux essais de défaut en ligne a été spécifiée. La capacité localisée entre le disjoncteur et la ligne donnera également naissance à un retard de la composante de la TTR côté ligne. Pendant les essais, il est souhaitable de mesurer et d'enregistrer le retard du côté ligne et il est recommandé d'utiliser une méthode convenant pour cette détermination.

2. Résumé général des méthodes recommandées

On classe comme suit les méthodes fondamentales utilisées pour la détermination des formes de l'onde de la TTR présumée:

- Groupe 1 — Coupure directe du courant de court-circuit;
- Groupe 2 — Injection de courant à fréquence industrielle;
- Groupe 3 — Injection de courant de condensateur;
- Groupe 4 — Modèles de réseaux;
- Groupe 5 — Calcul à partir des paramètres du circuit;
- Groupe 6 — Enclenchement à vide de réseaux d'essai comprenant des transformateurs.

Les groupes 1 à 6 conviennent pour les stations d'essai de court-circuit.

Les groupes 1, 4 et 5 sont recommandés pour les réseaux.

Les groupes 2 et 3 peuvent être appliqués aux éléments des réseaux.

Lors de l'utilisation des groupes 1, 2, 3, 4 ou 6, il est recommandé de vérifier soigneusement les circuits d'enregistrement de la tension afin de s'assurer que l'ensemble de l'étalonnage demeure constant dans toute la gamme des fréquences de la TTR à enregistrer et que les déviations en fonction du temps sont linéaires. Il est alors recommandé d'étalonner, en fonction d'une tension connue, l'oscillographe et chaque diviseur de tension. Lors de l'utilisation d'oscillographes cathodiques comportant une base de temps de balayage, il est recommandé de connaître avec précision l'échelle de la déviation en fonction du temps, et de préférence d'utiliser une échelle linéaire afin d'éviter d'effectuer des relevés supplémentaires uniquement en vue de comparaisons, etc.

3. Etude détaillée des méthodes recommandées

3.1 Groupe 1 — Coupure directe d'un courant de court-circuit

Ces méthodes comportent la coupure d'un courant de court-circuit réel établi au moyen d'une connexion métallique dans le réseau en étude et l'enregistrement de la TTR qui en résulte à l'aide d'un oscillographe. Idéalement, il est recommandé que le courant coupé soit symétrique, ou de tenir compte de la variation de di/dt s'il existe une asymétrie appréciable. Avec ces méthodes, il est essentiel de tenir compte de l'influence du disjoncteur. A ce point de vue, les caractéristiques les plus importantes sont: la tension d'arc et la conductibilité post-arc.