

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1233**

Première édition
First edition
1994-07

**Disjoncteurs haute tension à courant alternatif –
Etablissement et coupure de charge inductive**

**High-voltage alternating current circuit-breakers –
Inductive load switching**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1233: 1994

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications 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.

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- Catalogue des publications de la CEI
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- Bulletin de la CEI
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. 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.

Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

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 to be found at the following IEC sources:

- IEC web site*
- Catalogue of IEC publications
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- IEC Bulletin
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**RAPPORT
TECHNIQUE – TYPE 2
TECHNICAL
REPORT – TYPE 2**

**CEI
IEC
1233**

Première édition
First edition
1994-07

**Disjoncteurs haute tension à courant alternatif –
Etablissement et coupure de charge inductive**

**High-voltage alternating current circuit-breakers –
Inductive load switching**

© CEI 1994 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

XC

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6

Articles

SECTION 1: GÉNÉRALITÉS

1.1	Domaine d'application	10
1.2	Références normatives	10
1.3	Tensions auxiliaires et pressions	10

SECTION 2: COURANTS MAGNÉTISANTS DE TRANSFORMATEUR

2.1	Généralités	10
2.2	Courant magnétisant de transformateur pour disjoncteurs de tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV	10
2.3	Courant magnétisant de transformateur pour disjoncteurs de tensions assignées inférieures à 100 kV	12

SECTION 3: ESSAIS D'ÉTABLISSEMENT ET DE COUPURE DE MOTEURS À HAUTE TENSION

3.1	Domaine d'application	12
3.2	Généralités	12
3.3	Caractéristiques des circuits d'alimentation	16
3.4	Caractéristiques du circuit de charge	16
3.5	Tension d'essai	18
3.6	Séquence d'essais	20
3.7	Mesurages	20
3.8	Comportement et état du disjoncteur	22
3.9	Rapport d'essais	22

SECTION 4: ESSAIS DE COUPURE ET D'ÉTABLISSEMENT DE COURANT DE RÉACTANCE SHUNT

4.1	Domaine d'application	26
4.2	Généralités	26
4.3	Circuits d'essais	26
4.4	Caractéristiques du circuit d'alimentation	30
4.5	Caractéristiques des câbles de connexion	30
4.6	Caractéristiques des circuits de charge	30
4.7	Mise à la terre du circuit d'essai	34
4.8	Tension d'essai	34
4.9	Séquences d'essai	36
4.10	Mesurages	38
4.11	Résultats d'essais	38
4.12	Rapport d'essais	38

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7

Clause

SECTION 1: GENERAL

1.1 Scope	11
1.2 Normative references	11
1.3 Auxiliary voltages and pressures	11

SECTION 2: TRANSFORMER MAGNETIZING CURRENTS

2.1 General	11
2.2 Transformer magnetizing current for circuit-breakers with rated voltages of 100 kV and above	11
2.3 Transformer magnetizing current for circuit-breakers with rated voltages below 100 kV	13

SECTION 3: HIGH-VOLTAGE MOTOR SWITCHING TESTS

3.1 Applicability	13
3.2 General	13
3.3 Characteristics of the supply circuits	17
3.4 Characteristics of the load circuit	17
3.5 Test voltage	19
3.6 Test duties	21
3.7 Test measurements	21
3.8 Behaviour and condition of circuit-breaker	23
3.9 Test report	23

SECTION 4: SHUNT REACTOR CURRENT SWITCHING TESTS

4.1 Applicability	27
4.2 General	27
4.3 Test circuits	27
4.4 Characteristics of the supply circuit	31
4.5 Characteristics of the connecting leads	31
4.6 Characteristics of the load circuits	31
4.7 Earthing of the test circuit	35
4.8 Test voltage	35
4.9 Test duties	37
4.10 Test measurements	39
4.11 Test results	39
4.12 Test report	39

SECTION 5: GUIDE D'APPLICATION POUR L'ÉTABLISSEMENT ET LA COUPURE DE COURANT DE RÉACTANCE SHUNT PAR DES DISJONCTEURS À COURANT ALTERNATIF À HAUTE TENSION

Articles

5.1	Domaine d'application	42
5.2	But	42
5.3	Conditions générales d'utilisation	42
5.4	Conditions d'établissement et de coupure	46
5.5	Réactances directement mises à la terre (phénomène de base de la création de surtensions)	48
5.6	Réactances shunt non mises à la terre	70
5.7	Réactances mises à la terre par réactance de neutre	78
5.8	Limitation des surtensions	84
5.9	Essais du disjoncteur	92
5.10	Spécifications du disjoncteur	96

Annexes

A	Caractéristiques de la réactance shunt	102
B	Caractéristiques du réseau et du poste	106
C	Calcul général des surtensions d'arrachement et de réallumage	110
D	Modes d'oscillations	122
E	Application des résultats d'essais en laboratoire aux installations existantes de réactance shunt	132
F	Formules statistiques pour le calcul des surtensions d'arrachement et de réallumage	154
G	Bibliographie	156

SECTION 5: APPLICATION GUIDE FOR A.C. HIGH-VOLTAGE CIRCUIT-BREAKERS FOR SHUNT REACTOR CURRENT SWITCHING

Clause

5.1	Applicability	43
5.2	Purpose	43
5.3	General application conditions	43
5.4	Switching conditions	47
5.5	Directly earthed reactors (basic overvoltage generation phenomena)	49
5.6	Unearthed reactors	71
5.7	Neutral reactor earthed reactors	79
5.8	Limitation of overvoltages	85
5.9	Circuit-breaker testing	93
5.10	Circuit-breaker specification	97

Annexes

A	Shunt reactor characteristics	103
B	System and station characteristics	107
C	General derivation of chopping and re-ignition overvoltages	111
D	Oscillation modes	123
E	Application of laboratory test results to actual shunt reactor installations	133
F	Statistical formulae for derivation of chopping and re-ignition overvoltages	155
G	Bibliography	156

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISJONCTEURS HAUTE TENSION À COURANT ALTERNATIF – ÉTABLISSEMENT ET COUPURE DE CHARGE INDUCTIVE

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 en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études 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.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles 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.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques de types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**HIGH-VOLTAGE ALTERNATING CURRENT CIRCUIT-BREAKERS –
INDUCTIVE LOAD SWITCHING**

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 cooperation 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, 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.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, 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.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but not immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

La CEI 1233, rapport technique de type 2, a été établie par le sous-comité 17A: Appareillage à haute tension, du comité d'études 17 de la CEI: Appareillage.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projets de comité	Rapports de vote
17A(BC)213 17A(SEC)337 17A(SEC)390	17A(BC)216, 216A 17A(SEC)354 17A(SEC)407

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

Le présent document est publié dans la série des rapports techniques de type 2 (conformément au paragraphe G.4.2.2 de la partie 1 des Directives CEI/ISO) comme «norme prospective d'application provisoire» dans le domaine des disjoncteurs haute tension à courant alternatif car il est urgent d'avoir des indications sur la meilleure façon d'utiliser les normes dans ce domaine afin de répondre à un besoin déterminé.

Ce document ne doit pas être considéré comme une «Norme internationale». Il est proposé pour une mise en oeuvre provisoire, dans le but de recueillir des informations et d'acquérir de l'expérience quant à son application dans la pratique. Il est de règle d'envoyer les observations éventuelles relatives au contenu de ce document au Bureau Central de la CEI.

Il sera procédé à un nouvel examen de ce rapport technique de type 2 trois ans au plus tard après sa publication, avec la faculté d'en prolonger la validité pendant trois autres années, de le transformer en Norme internationale ou de l'annuler.

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

IEC 1233, which is a technical report of type 2, has been prepared by sub-committee 17A: High-voltage switchgear and controlgear, of IEC technical committee 17: Switchgear and controlgear.

The text of this technical report is based on the following documents:

Committee drafts	Reports on voting
17A(CO)213 17A(SEC)337 17A(SEC)390	17A(CO)216, 216A 17A(SEC)354 17A(SEC)407

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

This document is issued in the type 2 technical report series of publications (according to G.4.2.2 of part 1 of the IEC/ISO Directives) as a "prospective standard for provisional application" in the field of high-voltage alternating current circuit-breakers because there is an urgent requirement for guidance on how standards in this field should be used to meet an identified need.

This document is not to be regarded as an "International Standard". It is proposed for provisional application so that information and experience of its use in practice may be gathered. Comments on the content of this document should be sent to the IEC Central Office.

A review of this type 2 technical report will be carried out not later than three years after its publication, with the options of either extension for a further three years or conversion to an International Standard or withdrawal.

Annexes A to G are for information only.

DISJONCTEURS HAUTE TENSION À COURANT ALTERNATIF – ÉTABLISSEMENT ET COUPURE DE CHARGE INDUCTIVE

Section 1: Généralités

1.1 *Domaine d'application*

Ce rapport s'applique aux disjoncteurs utilisés pour l'établissement et la coupure:

- de courants magnétisants de transformateurs, ou
- de courants de moteurs à haute tension, ou
- de courants de réactance shunt.

Il est aussi applicable aux contacteurs utilisés pour l'établissement et la coupure de courants de moteurs à haute tension.

1.2 *Références normatives*

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour le présent rapport technique. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur le présent rapport technique sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 50(441): 1984, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 441: Appareillage et fusibles*

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

1.3 *Tensions auxiliaires et pressions*

Pour les essais d'établissement et de coupure de charges inductives, les dispositifs de fermeture et d'ouverture et les circuits auxiliaires sont alimentés sous leurs tensions assignées et les pressions de gaz pour la commande et pour l'interruption sont à leurs valeurs assignées.

NOTE – Il est admis de contrôler le comportement aux réallumages du disjoncteur à la pression minimale de fonctionnement du fluide de coupure.

Section 2: Courants magnétisants de transformateur

2.1 *Généralités*

A cause du comportement non linéaire du circuit magnétique du transformateur, il n'est pas possible de représenter l'établissement et la coupure du courant magnétisant d'un transformateur par des composants linéaires dans une station d'essais. Les essais utilisant un transformateur (par exemple un transformateur d'essais) sont uniquement valables pour le transformateur essayé et ne peuvent être représentatifs d'autres transformateurs.

2.2 *Courant magnétisant de transformateur pour disjoncteurs de tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV*

L'expérience montre que lors de la coupure de courants magnétisants de transformateurs à vide en régime établi et à des tensions n'exédant pas leur tension assignée, les surtensions sont de faible amplitude. De ce fait, des essais ne sont pas spécifiés pour simuler ces conditions de manoeuvre d'ouverture et fermeture.

HIGH-VOLTAGE ALTERNATING CURRENT CIRCUIT-BREAKERS – INDUCTIVE LOAD SWITCHING

Section 1: General

1.1 Scope

This report is applicable to circuit-breakers which are used for switching of:

- transformer magnetizing currents, or
- currents of high-voltage motors, or
- currents of shunt reactors.

It is also applicable to contactors used for switching the currents of high-voltage motors.

1.2 Normative references

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

IEC 50(441): 1984, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*

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

1.3 Auxiliary voltages and pressures

Inductive load switching tests shall be made with rated supply voltage applied to the closing and opening devices and auxiliary circuits and with rated pressures of compressed gas supply for operation and for interruption.

NOTE – The re-ignition behaviour of the circuit-breaker may be checked at the minimum functional pressure of the extinguishing medium.

Section 2: Transformer magnetizing currents

2.1 General

Due to the non-linear behaviour of the transformer iron core it is not possible to correctly model the switching of transformer magnetizing current by linear components in a test station. Tests using a transformer (for example, a test transformer) will be only valid for the transformer tested and cannot be representative for other transformers.

2.2 Transformer magnetizing current for circuit-breakers with rated voltages of 100 kV and above

Experience indicates that when interrupting magnetizing currents of unloaded transformers under steady-state conditions and at voltages not exceeding their rated voltage, the overvoltages are small. Tests are therefore not specified to simulate this switching condition.

La coupure du courant d'appel magnétisant d'un transformateur à vide n'est pas une condition normale de service et aucun essai n'est spécifié.

2.3 Courant magnétisant de transformateur pour disjoncteurs de tensions assignées inférieures à 100 kV

En général des essais ne sont pas exigés, mais en cas de doute il convient d'effectuer les essais sur le réseau, dans les conditions réelles de service. Si ce n'est pas possible, des essais triphasés peuvent être exécutés dans un laboratoire utilisant le transformateur réel à manoeuvrer en exploitation.

Dans l'un ou l'autre cas, il est recommandé pour le circuit d'alimentation d'avoir une capacité aussi basse que possible sous réserve que les TTR ne dépassent pas les valeurs assignées. Les dispositifs de limitation de tension utilisés en service peuvent être connectés pour les essais.

Section 3: Essais d'établissement et de coupure de moteurs à haute tension

3.1 Domaine d'application

Cette section s'applique aux disjoncteurs et contacteurs à courant alternatif triphasé de tensions assignées supérieures à 1 kV et allant jusqu'à 17,5 kV utilisés pour la commande de moteurs à haute tension.

Les essais d'établissement et de coupure de moteurs s'appliquent à tous les disjoncteurs tripolaires de tension assignée égale ou inférieure à 17,5 kV qui peuvent être utilisés pour la commande de moteurs asynchrones triphasés à cage d'écureuil ou à bagues. Le disjoncteur peut avoir une tension assignée plus haute et être raccordé au moteur par un transformateur. Cependant, l'application la plus courante est le raccordement direct du disjoncteur au moteur. Lorsque des essais sont demandés par le constructeur ou l'utilisateur, ils doivent être effectués selon les articles 3.2 à 3.9.

Aucun limite de surtension n'est donnée car les surtensions dépendent de l'application considérée. Les surtensions entre phases peuvent être aussi significatives que les surtensions entre phase et terre.

3.2 Généralités

Les essais d'établissement et de coupure peuvent être effectués soit en réseau soit en laboratoire. En ce qui concerne les surtensions, la coupure du courant de démarrage ou du moteur bloqué est normalement la manoeuvre la plus sévère.

Un circuit normalisé simulant un moteur bloqué est spécifié pour les essais en laboratoire (voir figure 1). Les paramètres de ce circuit ont été choisis pour représenter un cas relativement sévère en ce qui concerne les surtensions et couvrent la majorité des applications pratiques. On considère que ce circuit convient mieux qu'un moteur réel à l'obtention de résultats de large application.

Interruption of the inrush magnetizing current of an unloaded transformer is not a normal service condition and no tests are specified.

2.3 *Transformer magnetizing current for circuit-breakers with rated voltages below 100 kV*

Generally tests are not required but in cases of doubt they should be made on the system under actual service conditions. If this is not possible, three-phase tests may be made in a laboratory using the actual transformer to be switched in service.

In either case, the source circuit should have as low a capacitance as possible subject to the rated TRV not being exceeded. Any means of voltage limiting to be used in service may be connected for the tests.

Section 3: High-voltage motor switching tests

3.1 *Applicability*

This section is applicable to three-phase alternating current circuit-breakers and contactors having rated voltages above 1 kV and up to 17,5 kV which are used for controlling high-voltage motors.

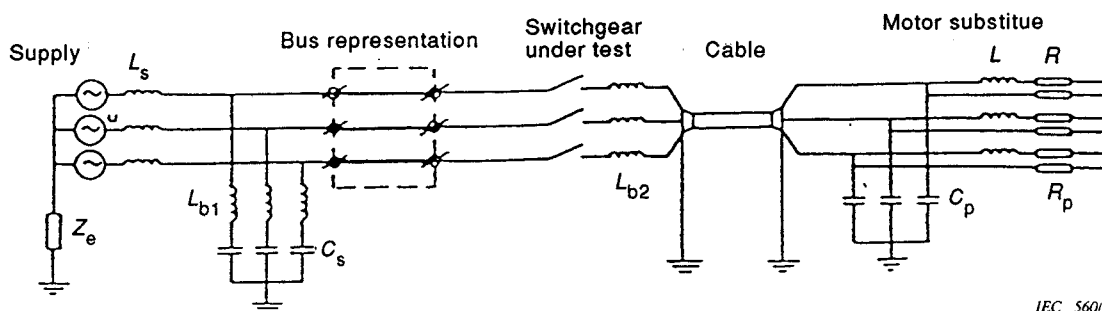
Motor switching tests are applicable to all three-pole circuit-breakers having rated voltages equal to or less than 17,5 kV which may be used for the control of three-phase asynchronous squirrel-cage or slip-ring motors. The circuit-breaker may be of a higher rated voltage and connected to the motor through a transformer. However, the more usual application is a direct connection between circuit-breaker and motor. When tests are requested by the manufacturer or user, they shall be made in accordance with clauses 3.2 to 3.9.

No limits to the overvoltages are given as the overvoltages are only relevant to the specific application. Overvoltages between phases may be as significant as phase-to-earth overvoltages.

3.2 *General*

The switching tests can be either field tests or laboratory tests. As regards overvoltages, the breaking of the current of a starting or stalled motor is usually the more severe operation.

For laboratory tests a standardized circuit simulating the stalled condition of a motor is specified (refer to figure 1). The parameters of this test circuit have been chosen to represent a relatively severe case with respect to overvoltages and will cover the majority of service applications. This circuit is considered to be more suited to obtaining widely applicable results than an actual motor.



IEC 560/94

u = tension assignée

Z_e = impédance de mise à la terre

L_s = impédance côté source

C_s = capacité côté source

L_{b1} = inductance des condensateurs et du raccordement

Jeu de barres

L_{b2} = inductance des connexions

Câble

L = réactance de substitution du moteur

R = résistance de substitution du moteur

C_p = capacité parallèle de substitution du moteur

R_p = résistance parallèle de substitution du moteur

impédance assez forte pour limiter le courant de défaut phase-terre au-dessous du courant d'essai (peut être infinie)

$\omega L_s \leq 0,1 \omega L$, mais le courant de court-circuit présumé égal ou inférieur au courant de court-circuit assigné du disjoncteur en essai

0,03 μ F à 0,05 μ F pour le circuit d'alimentation A
1,5 μ F à 2 μ F pour le circuit d'alimentation B

$\leq 2 \mu$ H

5 m à 7 m de longueur suivant la tension assignée

$\leq 5 \mu$ H

100 m $\pm$ 10 m, à écran, $Z_o = 30 \Omega$ à 50Ω

circuit de charge 1: 100 A $\pm$ 10 A

circuit de charge 2: 300 A $\pm$ 30 A

$\cos \theta \leq 0,2$

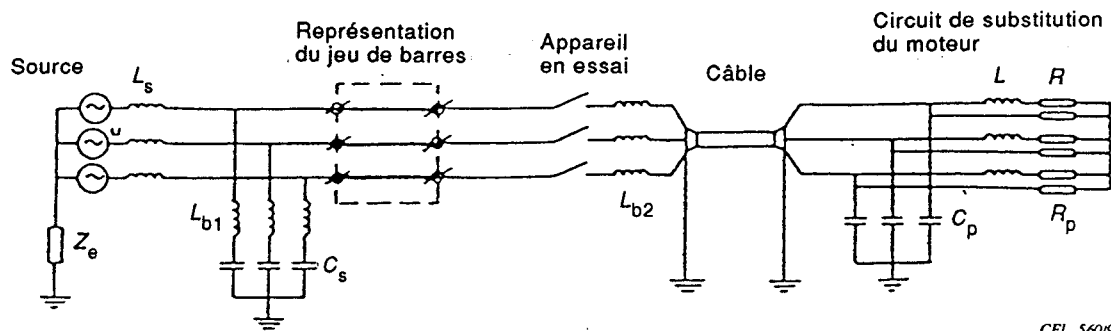
fréquence 10 kHz à 15 kHz

facteur d'amplitude 1,6 à 1,8

Figure 1 – Circuit d'essai d'établissement et de coupure de moteur et résumé des paramètres

Les essais en laboratoire peuvent être effectués pour prouver la capacité du disjoncteur à établir et à couper les courants de moteur et pour déterminer son comportement en ce qui concerne les surtensions d'établissement et de coupure, les réallumages et l'arrachage de courant. Ces caractéristiques peuvent servir de base à l'estimation du fonctionnement du disjoncteur avec d'autres circuits de moteur.

Pour les essais sur site, les circuits réels sont utilisés avec un réseau d'alimentation du côté source et un câble et un moteur du côté charge. Il peut y avoir aussi un transformateur entre le disjoncteur et le moteur. Cependant, les résultats de tels essais sur site ne sont valables que pour les disjoncteurs insérés dans des circuits similaires à ceux utilisés pour les essais.



CEI 560194

 u = rated voltage Z_e = earthing impedance L_s = source side inductance C_s = supply side capacitance L_{b1} = inductance of capacitors and connections

Bus representation

 L_{b2} = inductance of connections

Cable

 L = motor substitute inductance R = motor substitute resistance C_p = motor substitute parallel capacitance R_p = motor substitute parallel resistance

impedance high enough to limit the line-to-earth fault current to less than test current (can be infinite)

 $\omega L_s \leq 0,1 \omega L$, but prospective s.c. current equal to or less than rated s.c. current of the tested circuit-breaker0,03 μ F to 0,05 μ F for supply circuit A1,5 μ F to 2 μ F for supply circuit B $\leq 2 \mu$ H

5 m to 7 m in length spaced appropriate to the rated voltage

 $\leq 5 \mu$ H100 m $\pm$ 10 m, screened, $Z_0 = 30 \Omega$ to 50 Ω load circuit 1: 100 A $\pm$ 10 Aload circuit 2: 300 A $\pm$ 30 A $\cos \theta \leq 0,2$

frequency 10 kHz to 15 kHz

amplitude factor 1,6 to 1,8

Figure 1 – Motor switching test circuit and summary of parameters

The laboratory tests can be performed to prove the ability of a circuit-breaker to switch motors and to establish its behaviour with respect to switching overvoltages, re-ignitions and current chopping. These characteristics may serve as a basis for estimates of the circuit-breaker performance in other motor circuits.

For field tests, actual circuits are used with a supply system on the source side and a cable and motor on the load side. There may be a transformer between the circuit-breaker and motor. However, the results of such field tests are only valid for circuit-breakers working in circuits similar to those during the tests.

L'appareil soumis aux essais comprend le disjoncteur avec les dispositifs de protection contre les surtensions s'ils sont compris dans l'équipement normal de coupure.

NOTES

- 1 Des surtensions peuvent être produites à l'établissement ou à la coupure de moteurs en rotation normale. Cette condition n'est pas représentée par le circuit normalisé de laboratoire car elle est considérée comme moins sévère.
- 2 En période de démarrage, l'établissement et la coupure d'un moteur à bagues sont généralement moins sévères à cause de l'effet de la résistance de démarrage.
- 3 La tension assignée du disjoncteur peut être différente de celle du moteur.

3.3 Caractéristiques des circuits d'alimentation

Un circuit d'alimentation triphasé doit être utilisé. Deux circuits d'alimentation différents sont utilisés pour les essais comme spécifié en 3.3.1 et 3.3.2. Les essais peuvent être effectués à 50 Hz ou 60 Hz $\pm$ 10 %. Les essais effectués à l'une ou l'autre fréquence sont équivalents.

La TTR du circuit d'alimentation a une influence négligeable sur celle du circuit complet et n'est donc pas spécifiée.

3.3.1 Circuit d'alimentation A

L'alimentation triphasée peut être mise à la terre par l'intermédiaire d'une impédance de forte valeur ohmique en sorte que la tension d'alimentation soit définie par rapport à la terre. La valeur de l'impédance doit être assez grande pour limiter le courant présumé d'un défaut entre phase et terre à une valeur inférieure au courant d'essai.

L'impédance de la source L_s ne doit pas être inférieure à celle qui correspond au courant assigné de coupure de court-circuit du disjoncteur essayé. L'impédance doit aussi n'être pas plus forte que 0,1 fois l'impédance de l'inductance du circuit de charge (voir article 3.4).

La capacité C_s du circuit d'alimentation est représentée par trois condensateurs branchés en étoile dont le point commun est mis à la terre. Leur valeur, y compris les capacités naturelles du circuit, doit être de $0,04 \mu\text{F} \pm 0,01 \mu\text{F}$. L'inductance L_{b1} des condensateurs et de leurs raccordements doit être inférieure à 2 μH .

L'inductance du jeu de barres est représentée par trois barres longues de $6 \text{ m} \pm 1 \text{ m}$ chacune et espacées d'une distance appropriée à la tension assignée.

3.3.2 Circuit d'alimentation B

Comme le circuit d'alimentation A avec une valeur de condensateurs du circuit d'alimentation portée à $1,75 \mu\text{F} \pm 0,25 \mu\text{F}$.

3.4 Caractéristiques du circuit de charge

Le circuit de charge doit être triphasé. Le circuit de substitution de moteur est raccordé au disjoncteur en essai par un câble à champ radial (à écran) de $100 \text{ m} \pm 10 \text{ m}$ de long. Il est recommandé que le câble soit connecté directement aux bornes du moteur ou du circuit de substitution.

The apparatus under test includes the circuit-breaker with overvoltage protection devices if they are normally fitted.

NOTES

- 1 Overvoltages may be produced when switching running motors. This condition is not represented by the substitute circuit, but is regarded less severe.
- 2 During the starting period switching of a slip-ring motor is generally less severe due to the effect of the starting resistor.
- 3 The rated voltage of the circuit-breaker may differ from that of the motor.

3.3 *Characteristics of the supply circuits*

A three-phase supply circuit shall be used. The tests shall be performed using two different supply circuits as specified in 3.3.1 and 3.3.2. Tests may be carried out at 50 Hz or 60 Hz $\pm 10\%$. Tests at either frequency are equivalent.

The TRV of the supply circuit has negligible influence on that of the complete circuit and is therefore not specified.

3.3.1 *Supply circuit A*

The three-phase supply may be earthed through a high ohmic impedance so that the supply voltage is defined with respect to earth. The impedance value shall be high enough to limit a prospective line-to-earth fault current to a value below the test current.

The source impedance L_s shall not be lower than that corresponding to the rated short-circuit breaking current of the tested circuit-breaker. The impedance shall also be not higher than 0,1 times the impedance of the inductance in the load circuit (see clause 3.4).

The supply side capacitance C_s is represented by three capacitors connected in earthed star. Their value, including the natural capacitance of the circuit shall be $0,04\ \mu\text{F} \pm 0,01\ \mu\text{F}$. The inductance L_{b1} of the capacitors and connections shall not exceed $2\ \mu\text{H}$.

The busbar inductance is represented by three bars forming a busbar each $6\ \text{m} \pm 1\ \text{m}$ in length and spaced at a distance appropriate to the rated voltage.

3.3.2 *Supply circuit B*

As supply circuit A with the value of the supply side capacitance increased to $1,75\ \mu\text{F} \pm 0,25\ \mu\text{F}$.

3.4 *Characteristics of the load circuit*

A three-phase load circuit shall be used. The motor substitute circuit is connected to the circuit-breaker under test by $100\ \text{m} \pm 10\ \text{m}$ of radial field (screened) cable. It is recommended that the cable be connected directly to the terminals of the motor or substitute circuit.

Il convient que l'inductance de toute connexion intermédiaire n'excède pas 3 μH . Les deux extrémités de l'écran du câble doivent être mises à la terre. Les essais sont effectués en utilisant deux circuits de substitution de moteur différents comme spécifié en 3.4.1 et 3.4.2. L'inductance L_{b2} des connexions entre disjoncteur et câble doit être inférieure à 5 μH .

NOTE – Les essais en laboratoire peuvent être effectués avec un vrai moteur dont les caractéristiques font l'objet d'un accord.

3.4.1 *Circuit de substitution de moteur 1*

Une résistance et une réactance sont montées en série pour obtenir un courant de 100 A $\pm$ 10 A avec un facteur de puissance inférieur à 0,2 en retard. Le point commun ne doit pas être raccordé à la terre. Une résistance R_p doit être connectée en parallèle avec l'impédance de chaque phase et un condensateur C_p entre chaque phase et terre en sorte que le circuit de substitution du moteur ait une fréquence propre de 12,5 kHz $\pm$ 2,5 kHz et un facteur d'amplitude de 1,7 $\pm$ 0,1 mesurés sur chaque phase avec les deux autres phases connectées à la terre. Les valeurs présumées sont déterminées par la méthode 3 de l'annexe GG de la CEI 56. Un transformateur peut être introduit à l'extrémité en aval du câble. Celui-là est considéré comme faisant partie du circuit de substitution du moteur.

3.4.2 *Circuit de substitution de moteur 2*

Comme le circuit de substitution de moteur 1, mais en en réduisant la résistance et la réactance pour obtenir un courant de 300 A $\pm$ 30 A avec un facteur de puissance inférieure à 0,2 en retard. La tension transitoire de rétablissement présumée est la même que celle qui est spécifiée pour le circuit de substitution de moteur 1.

3.5 *Tension d'essai*

- a) La moyenne des tensions appliquées ne doit pas être inférieure à la tension assignée U divisée par $\sqrt{3}$ ni dépasser cette valeur de plus de 10 % sans l'accord du constructeur.

Les différences entre la valeur moyenne et les tensions appliquées à chaque pôle n'excèdent pas 5 %.

La tension assignée U est celle du disjoncteur lorsque l'on utilise le circuit de substitution, mais elle est celle du moteur lorsque l'on utilise un vrai moteur.

- b) La tension de rétablissement à fréquence industrielle du circuit d'essai peut être indiquée en pourcentage de la tension de rétablissement à fréquence industrielle spécifiée ci-après. Elle n'est pas inférieure à 95 % de la valeur spécifiée et doit être maintenue pendant 0,1 s au moins.

La moyenne des tensions de rétablissements à fréquence industrielle n'est pas inférieure à la tension assignée U du disjoncteur divisée par $\sqrt{3}$.

La tension de rétablissement à fréquence industrielle d'aucun pôle n'est pas en principe différente de plus de 20 % de la valeur moyenne à la fin de la durée pendant laquelle elle est maintenue.

The inductance of any intermediate connection should not exceed 3 μH . The screen of the cable shall be earthed at both ends. The tests shall be performed using two different motor substitute circuits as specified in 3.4.1 and 3.4.2. The inductance L_{b2} of the connections between the circuit-breaker and cable shall not exceed 5 μH .

NOTE – Laboratory tests may be made using an actual motor, the rating of which should be subject to agreement.

3.4.1 *Motor substitute circuit 1*

Series-connected resistance and inductance shall be arranged to obtain a current of 100 A $\pm$ 10 A at a power factor less than 0,2 lagging. The star point shall not be connected to earth. Resistance R_p shall be connected in parallel with each phase impedance and capacitance C_p between each phase and earth so that the motor substitute circuit has a natural frequency of 12,5 kHz $\pm$ 2,5 kHz and an amplitude factor of 1,7 $\pm$ 0,1 measured in each phase with the other two phases connected to earth. The prospective values shall be determined by method 3 of appendix GG of IEC 56. A transformer may be introduced at the load end of the cable. This shall be considered as part of the motor substitute circuit.

3.4.2 *Motor substitute circuit 2*

As motor substitute circuit 1, but with the series resistance and inductance reduced to obtain a current of 300 A $\pm$ 30 A at a power factor less than 0,2 lagging. The prospective transient recovery voltage shall be as specified for motor substitute circuit 1.

3.5 *Test voltage*

- a) The average value of the applied voltages shall be not less than the rated voltage U divided by $\sqrt{3}$ and shall not exceed this value by more than 10 % without the consent of the manufacturer.

The differences between the average value and the applied voltages of each pole shall not exceed 5 %.

The rated voltage U is that of the circuit-breaker when using the substitute circuit, but is that of the motor when an actual motor is used.

- b) The power frequency recovery voltage of the test circuit may be stated as a percentage of the power frequency recovery voltage specified below. It shall not be less than 95 % of the specified value and shall be maintained for at least 0,1 s.

The average value of the power frequency recovery voltages shall be not less than the rated voltage U of the circuit-breaker divided by $\sqrt{3}$.

The power frequency recovery voltage of any pole should not deviate by more than 20 % from the average value at the end of the time for which it is maintained.

La tension de rétablissement à fréquence industrielle est mesurée entre les bornes du pôle dans chaque phase du circuit d'essai. Sa valeur efficace est déterminée sur l'oscillogramme entre une demi-période et une période à la fréquence industrielle après l'extinction finale de l'arc, comme indiqué à la figure 28 de la CEI 56. La distance verticale (respectivement V_1 , V_2 et V_3) entre la crête de la deuxième demi-période et la ligne droite joignant les crêtes respectives des demi-périodes précédente et suivante est mesurée puis divisée par $2\sqrt{2}$ et multipliée par le rapport d'étalonnage approprié pour donner la valeur efficace de la tension enregistrée de rétablissement à fréquence industrielle.

3.6 Séquence d'essais

Les essais d'établissement et de coupure de courant de moteur consistent en quatre séquences d'essais comme spécifié au tableau 1.

Tableau 1 – Séquence d'essais pour l'établissement et la coupure de courant de moteur

Séquence d'essai	Circuit d'alimentation	Circuit de substitution de moteur
1	A	1
2	A	2
3	B	1
4	B	2

Chaque séquence d'essai comprend:

- vingt essais avec les débuts des ordres de fermeture et d'ouverture répartis à des intervalles de 9 degrés électriques environ.

Les essais ci-dessus sont des cycles établissements-coupures ou des établissements et des coupures séparés, sauf pour les essais avec un vrai moteur où ils doivent être seulement des établissements-coupures. Lorsque les essais sont effectués à l'aide du circuit de substitution de moteur, il ne faut pas séparer les contacts du disjoncteur tant que toute composante continue du courant est supérieure à 20 %. Une durée d'établissement-coupure de 200 ms est recommandée pour les essais avec un vrai moteur.

NOTE – Puisque le circuit d'essai de la figure 1 est considéré comme représentant de façon acceptable les conditions réelles dans le cas de réallumage, il est aussi utilisable en principe pour l'étude des surtensions transitoires pouvant apparaître à la fermeture du circuit. L'influence du disjoncteur, des connexions et des caractéristiques du réseau d'alimentation peut être étudiée, mais il convient de traiter avec prudence l'amplitude absolue des surtensions à l'établissement.

3.7 Mesurages

Les grandeurs suivantes, au moins, sont enregistrées à l'oscillographe ou avec d'autres techniques:

- tension à fréquence industrielle;
- courant à fréquence industrielle;
- tension phase-terre aux bornes du moteur ou du circuit de substitution, dans les trois phases, avec une bande passante et une résolution dans le temps assez bonne pour déterminer les tensions transitoires.

NOTE – Il est recommandé de prendre soin que les connexions des dispositifs de mesurage ne changent pas la nature du circuit; par exemple la capacité des diviseurs capacitifs est en principe plus petite que celle des autres capacités adjacentes d'un ordre de grandeur.

The power frequency recovery voltage shall be measured between terminals of a pole in each phase of the test circuit. Its r.m.s. value shall be determined on the oscillogram within the time interval of one half cycle and one cycle of test frequency after final arc extinction, as indicated in figure 28 of IEC 56. The vertical distance (V_1 , V_2 and V_3 respectively) between the peak of the second half-wave and the straight line drawn between the respective peaks of the preceding and succeeding half-waves shall be measured, and this, when divided by $2\sqrt{2}$ and multiplied by the appropriate calibration, gives the r.m.s. value of the recorded power frequency recovery voltage.

3.6 Test duties

The motor current switching tests shall consist of four test duties as specified in table 1.

Table 1 – Test duties at motor current switching tests

Test duty	Supply circuit	Motor substitute circuit
1	A	1
2	A	2
3	B	1
4	B	2

The number of tests for each test duty shall be:

- twenty tests with the initiation of the closing and tripping impulses distributed at intervals of approximately 9 electrical degrees.

The above tests shall be make-breaks or separate makes and breaks except that when using an actual motor they shall only be make-breaks. When tests are made using the motor substitute circuit, the contacts of the circuit-breaker shall not be separated until any d.c. component has become less than 20 %. When switching an actual motor, a make-break time of 200 ms is recommended.

NOTE – Since the test circuit in figure 1 is judged to be an acceptable representation of actual conditions in case of re-ignition, it should also be useful when studying the overvoltage transients that may occur when closing the circuit. The influence of the circuit-breaker, the connections and the supply network characteristics may be investigated using this circuit, but the absolute magnitude of the overvoltage during making should be treated cautiously.

3.7 Test measurements

At least the following quantities shall be recorded by oscillograph or other suitable recording techniques:

- power frequency voltage;
- power frequency current;
- phase-to-earth voltage, at the motor or motor substitute circuit terminals, in all three phases, with bandwidth and time resolution high enough to determine transient voltages.

NOTE – Care should be taken that the connection of measuring devices does not substantially change the circuit; for example, the capacitance of the capacitive dividers should be smaller by an order of magnitude than other adjacent capacitances.

3.8 Comportement et état du disjoncteur

Les conditions suivantes doivent être remplies:

- a) Le comportement du disjoncteur pendant les essais d'établissement et de coupure de courants de moteur dans toutes les séquences d'essais doit être conforme aux prescriptions de 6.102.7 de la CEI 56.
- b) Après les séries d'essais, l'état du disjoncteur doit correspondre à celui de 6.102.8.4 de la CEI 56.

3.9 Rapport d'essais

En plus des exigences de l'annexe CC de la CEI 56, le rapport d'essai doit comprendre une description minutieuse du circuit y compris des détails suivants:

- dimensions principales et caractéristiques du jeu de barres et des connexions au disjoncteur;
- les caractéristiques du câble:
 - longueur
 - valeurs assignées
 - type
 - diélectrique principal - XLPE, papier/huile etc.
 - mise à la terre
 - capacité
 - impédance caractéristique;
- les paramètres du circuit de substitution de moteur:
 - fréquence propre
 - facteur d'amplitude
 - courant
 - facteur de puissance;
- ou les détails du moteur réel:
 - type et caractéristiques
 - tension assignée
 - branchement des enroulements
 - courant assigné
 - courant de démarrage et facteur de puissance correspondant;
- caractéristiques des surtensions.

Les caractéristiques suivantes des tensions aux bornes du moteur ou du circuit de substitution (voir figure 2) doivent être évaluées à chaque essai triphasé:

- u_p surtension maximale
- u_{ma} surtension crête d'extinction
- u_{mr} surtension crête de rétablissement
- u_s surtension maximale crête à crête en cas de réallumage et/ou de préamorçage.

3.8 *Behaviour and condition of circuit-breaker*

The following conditions shall be fulfilled:

- a) The behaviour of the circuit-breaker during the motor switching tests in all prescribed test duties fulfills the conditions given in 6.102.7 of IEC 56.
- b) The condition of the circuit-breaker after the test series corresponds to the condition in 6.102.8.4 of IEC 56.

3.9 *Test report*

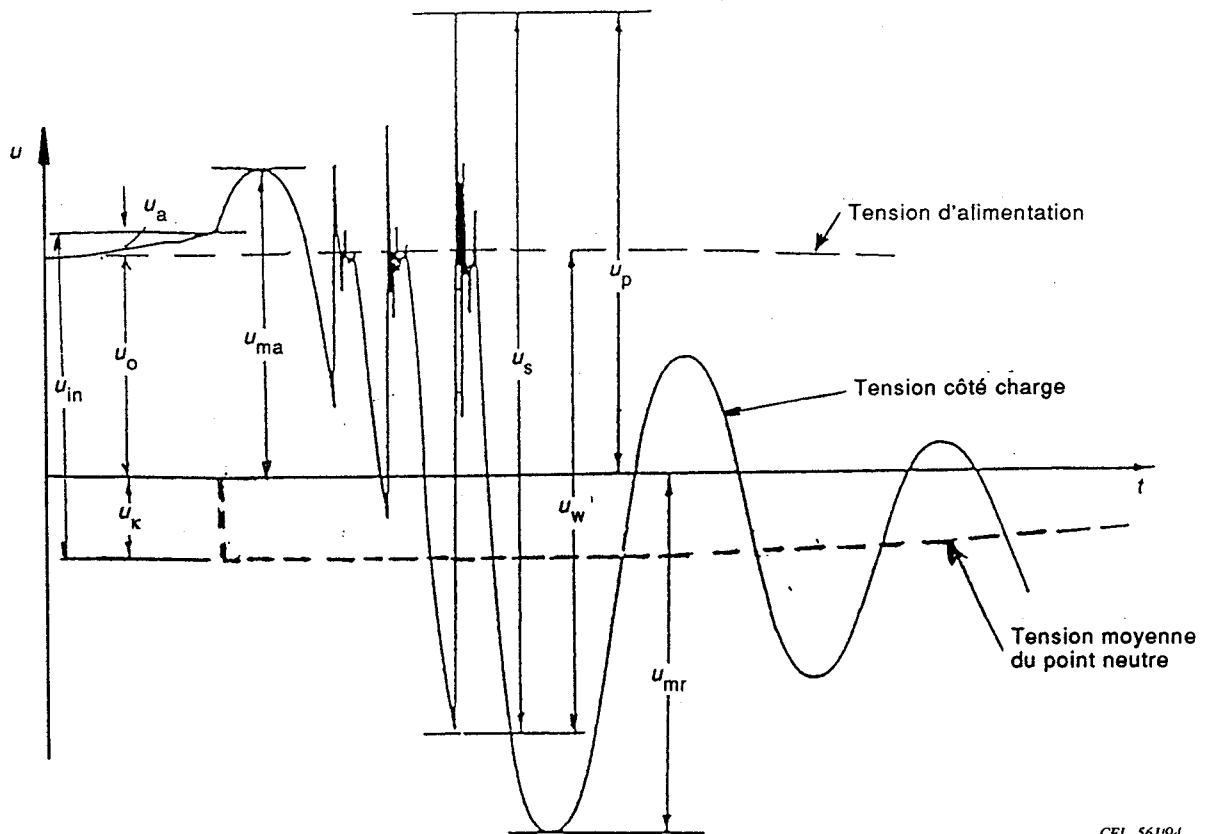
In addition to the requirements of appendix CC of IEC 56, the test report shall include a thorough description of the circuit, including the following details:

- main dimensions and characteristics of the bus and connections to the circuit-breaker;
- the characteristics of the cable:
 - length
 - rated values
 - type
 - main insulation dielectric – XLPE, paper/oil, etc.
 - earthing
 - capacitances
 - surge impedance;
- the parameters of the substitute motor circuit:
 - natural frequency
 - amplitude factor
 - current
 - power factor;
- or details of the actual motor:
 - type and rating
 - rated voltage
 - winding connection
 - rated current
 - starting current and power factor;
- overvoltage characteristics.

The following characteristics of the voltages at the motor or motor substitute circuit terminals at each test (refer to figure 2) shall be evaluated:

- u_p maximum overvoltage
- u_{ma} suppression peak overvoltage
- u_{mr} recovery peak overvoltage
- u_s maximum peak-to-peak voltage excursion at re-ignition and/or prestrike.

Lorsqu'il se produit des surtensions qui peuvent être dangereuses pour une application particulière, ou lorsque les caractéristiques du disjoncteur sont recherchées, un programme d'essais plus complet sera exigé, mais ceci sort du domaine d'application de ce rapport.

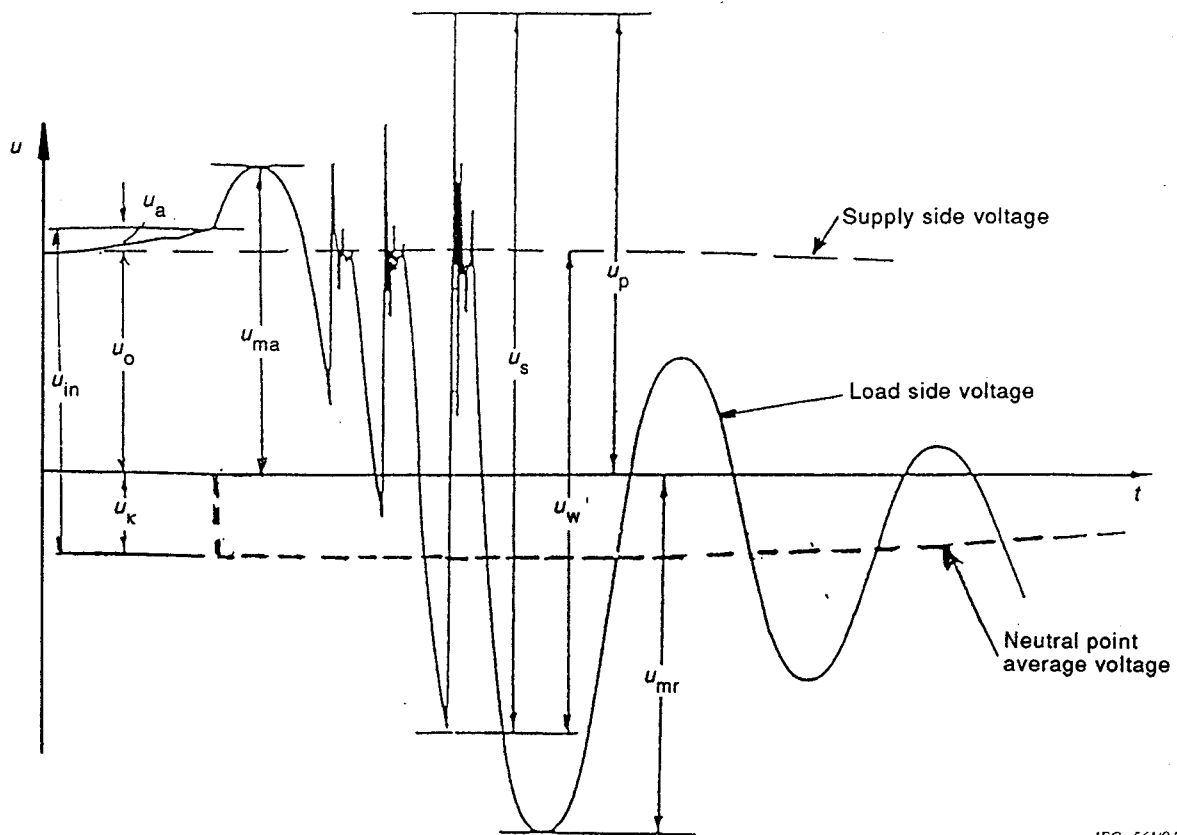


CEI 561/94

- u_o = valeur crête à la terre de la tension à fréquence industrielle
- u_k = décalage de la tension du neutre lors de la coupure de la première phase
- u_a = tension d'arc du disjoncteur
- $u_{in} = u_o + u_a + u_k$ = tension initiale à l'instant d'arrachement du courant
- u_{ma} = crête de la tension d'extinction à la terre
- u_{mr} = crête de la tension de rétablissement à la terre
- u_w = tension aux bornes du disjoncteur lors du réallumage
- u_p = surtension maximale à la terre (peut être $= u_{ma}$ ou u_{mr} s'il n'y a pas de réallumage)
- u_s = tension maximale crête à crête au réallumage

Figure 2 – Illustration des tensions transitoires lors de la coupure de courant de moteur; première phase coupée dans un circuit triphasé

When overvoltages occur which may be hazardous for a specific application, or where circuit-breaker characteristics are required, a more comprehensive test programme will be required which is beyond the scope of this report.



IEC 561/94

- u_o = power frequency voltage crest value to earth
- u_k = neutral voltage shift at first-phase interruption
- u_a = circuit-breaker arc voltage drop
- $u_{in} = u_o + u_a + u_k$ = initial voltage at the moment of current chopping
- u_{ma} = suppression peak voltage to earth
- u_{mr} = recovery peak voltage to earth
- u_w = voltage across circuit-breaker at re-ignition
- u_p = maximum overvoltage to earth (could be $= u_{ma}$ or u_{mr} if no re-ignitions occur)
- u_s = maximum peak-to-peak voltage excursion at re-ignition

Figure 2 – Illustration of transient voltages at interruption of motor current; first clearing phase in a three-phase circuit

Section 4: Essais de coupure et d'établissement de courant de réactance shunt

4.1 *Domaine d'application*

Ces dispositions d'essais s'appliquent aux disjoncteurs tripolaires à courant alternatif de tensions assignées supérieures ou égales à 12 kV, utilisés pour la commande de réactances shunt qui sont reliées directement au disjoncteur, sans transformateur interposé.

NOTE – La coupure et l'établissement, du côté haute tension du transformateur, de réactance au tertiaire ne sont pas traités dans cette section. L'application des résultats d'essais, effectués suivant cette section aux réactances mises à la terre par réactance de neutre (schéma à quatre noyaux) est discutée en section 5: Guide d'application.

4.2 *Généralités*

La coupure ou l'établissement de réactance est une opération pour laquelle de faibles différences des paramètres du circuit peuvent produire de grandes différences de sévérité en service. Les résultats d'une quelconque série d'essais ne peuvent simplement être appliqués à un autre ensemble de conditions. Cependant, une tentative est faite en vue d'une forme de normalisation et le guide d'application en section 5 donnera des informations complémentaires.

Les essais de coupure et d'établissement peuvent être effectués soit sur site, soit en laboratoire.

Les laboratoires peuvent avoir seulement une capacité limitée pour les essais de coupure de courant d'une réactance shunt. Il peut donc s'avérer nécessaire d'effectuer des essais sur site pour montrer la performance d'une installation spécifique composée d'une réactance et d'un disjoncteur particuliers. Le courant de charge et les conditions de TTR peuvent ne pas être conformes aux exigences de cette spécification. Ces essais peuvent être exécutés après accord entre le constructeur et l'utilisateur.

Pour les essais en laboratoire, des circuits normalisés sont spécifiés afin de démontrer la capacité du disjoncteur à couper les courants de réactance et d'obtenir les caractéristiques d'arrachement (surtensions crêtes d'extinction) et de réallumage. Les paramètres de ces circuits d'essai représentent des cas typiques d'application avec une TTR relativement sévère et sont considérés comme couvrant la majorité des applications pratiques.

Les essais en laboratoire peuvent aussi être effectués en utilisant une réactance réelle, mais les valeurs de réallumage et de surtensions pendant la coupure et l'établissement du courant ne seront pas obligatoirement valables pour tous les cas.

4.3 *Circuits d'essais*

Pour les essais en laboratoire, les circuits normalisés sont spécifiés comme suit:

- un circuit d'essai triphasé selon figure 3;
- un circuit d'essai monophasé selon figure 4.

Section 4: Shunt reactor current switching tests

4.1 *Applicability*

These test recommendations are applicable to three-phase alternating current circuit-breakers having rated voltages of 12 kV and above, which are used for switching shunt reactors that are directly connected to the circuit-breaker without interposing transformer.

NOTE – The switching of tertiary reactors from the high-voltage side of the transformer is not covered in this section. The application of test results according to this section on neutral reactor earthed reactors (4-leg reactor scheme) is discussed in section 5: Application guide.

4.2 *General*

Reactor switching is an operation where small differences in circuit parameters can produce large differences in the severity of the duty. The results from any one series of tests cannot simply be applied to a different set of conditions. Nevertheless, an attempt is made at some form of standardization and the application guide in section 5 gives further guidance.

The switching tests can be either field tests or laboratory tests.

Laboratories may have only a limited capability for shunt reactor current switching tests. It may be necessary therefore to perform field tests to demonstrate performance for a specific installation consisting of a particular reactor and circuit-breaker. The load current and TRV conditions may not conform to the requirements contained herein. These tests may be conducted upon agreement between the manufacturer and user.

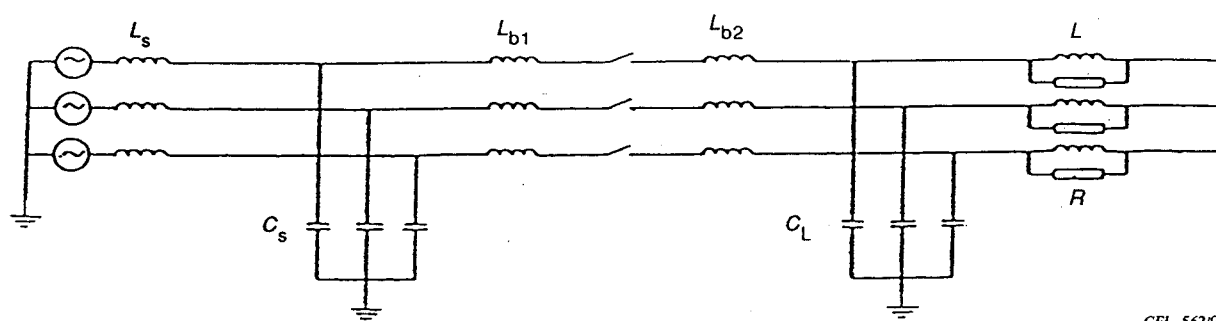
For laboratory tests, standard circuits are specified in order to demonstrate the ability of the circuit-breaker to interrupt reactor currents and to determine chopping characteristics (suppression peak overvoltages) and re-ignition behaviour. The parameters of these test circuits represent typical cases of application with relatively severe TRV and are regarded as covering the majority of service applications.

Laboratory tests may be made using an actual reactor but the re-ignitions and overvoltage magnitudes during switching will not necessarily be valid for other cases of installation.

4.3 *Test circuits*

For laboratory tests, standard circuits are specified according to the following:

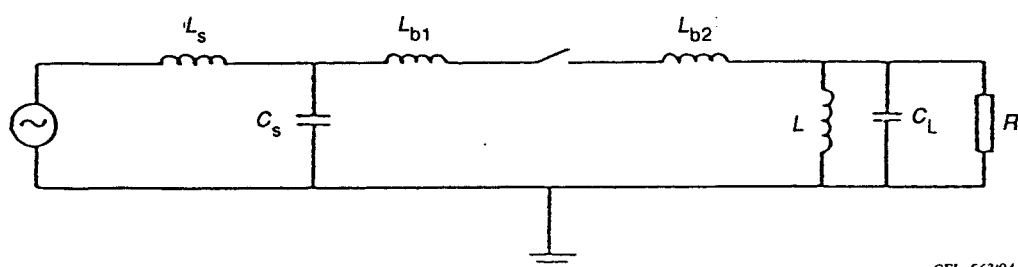
- a three-phase test circuit according to figure 3;
- a single-phase test circuit according to figure 4.



CEI 562/94

- L_s = inductance de source
- L_{b1}, L_{b2} = inductances des connexions
- L = inductance de la réactance
- C_s = capacité de la source
- C_L = capacité de la charge
- R = représentation des pertes de la charge (pour obtenir un facteur d'amplitude de 1,9)

Figure 3 – Essai de coupure et d'établissement de réactance. Disposition de principe d'un circuit triphasé. Point neutre de la réactance, également mis à terre, pour des tensions assignées égales ou supérieures à 245 kV



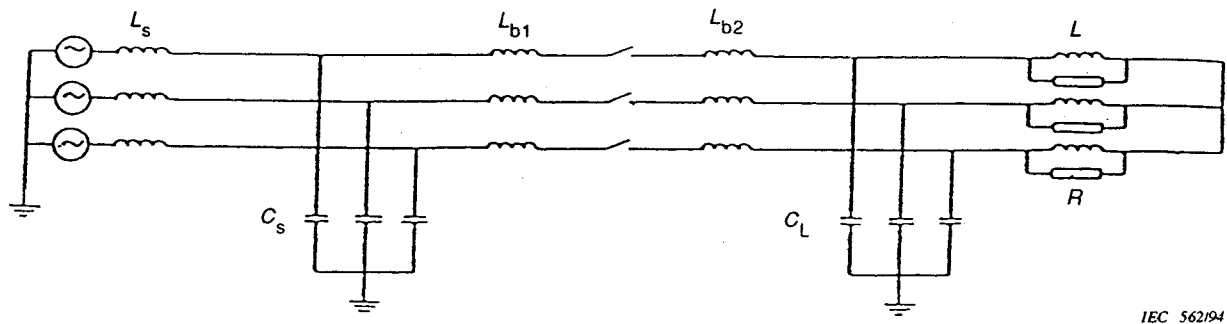
CEI 563/94

- L_s = inductance de source
- L_{b1}, L_{b2} = inductances des connexions
- L = inductance de la réactance
- C_s = capacité de la source
- C_L = capacité de la charge
- R = représentation des pertes de la charge (pour obtenir un facteur d'amplitude de 1,9)

Figure 4 – Essai de coupure et d'établissement de réactance. Schéma de principe d'un circuit pour un circuit monophasé

Le circuit d'essai triphasé est à utiliser pour tous les disjoncteurs dont la tension assignée est inférieure ou égale à 72,5 kV.

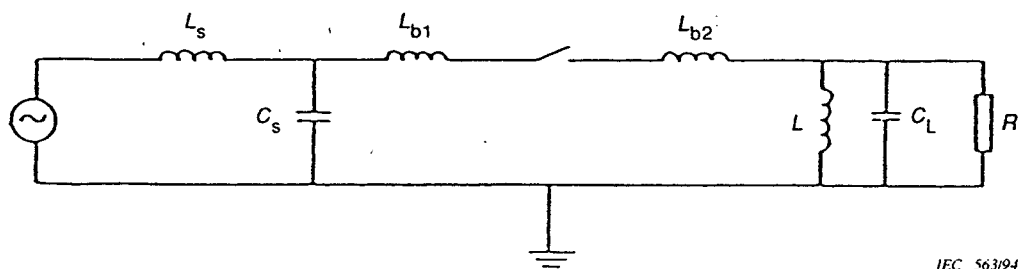
Idéalement, un circuit d'essai triphasé devrait aussi être utilisé pour tous les disjoncteurs de tension assignée supérieure à 72,5 kV. Pour des raisons pratiques d'essai, des essais monophasés sur un pôle ou une partie de disjoncteur à enveloppes multiples peuvent être réalisés pour toutes les tensions supérieures à 72,5 kV pour représenter des réactances mises à la terre dans des réseaux mis à la terre comme ceux non mis à la terre.



IEC 562/94

- L_s = inductance of source
 L_{b1}, L_{b2} = inductance of connections
 L = inductance of reactor
 C_s = capacitance of source
 C_L = capacitance of load
 R = representation of load losses (to obtain 1,9 amplitude factor)

**Figure 3 – Reactor switching test. Basic arrangement of three-phase circuit.
Neutral point of reactor earthed for rated voltages of 245 kV and above**



IEC 563/94

- L_s = inductance of source
 L_{b1}, L_{b2} = inductance of connections
 L = inductance of reactor
 C_s = capacitance of source
 C_L = capacitance of load
 R = representation of load losses (to obtain 1,9 amplitude factor)

Figure 4 – Reactor switching test. Basic layout of circuit for single-phase circuit

The three-phase test circuit shall be used for all circuit-breakers with a rated voltage of 72,5 kV and below.

Ideally, a three-phase test circuit should also be used for all circuit-breakers with rated voltages exceeding 72,5 kV. For convenience of testing, single-phase tests on one pole, or part thereof of multi-enclosure type circuit-breakers may be performed for all voltages exceeding 72,5 kV representing earthed reactors on earthed as well as unearthed systems.

Les exigences selon 6.102.1.1 et 6.102.2b) de la CEI 56, doivent être respectées.

NOTE – Le disjoncteur peut ne pas être contraint correctement lors des réallumages lorsqu'on effectue des essais par éléments séparés. Par conséquent les essais sur un pôle complet seront préférés lorsqu'il s'agira de vérifier l'ensemble des performances vis-à-vis des réallumages.

Dans tous les autres cas, et pour les disjoncteurs à enveloppe unique, un circuit d'essai triphasé doit être utilisé.

L'appareillage soumis aux essais comprend le disjoncteur avec les dispositifs de protection contre les surtensions s'ils font partie de l'équipement normal.

Lorsque des dispositifs limiteurs de surtension sont ajoutés au circuit d'essai pour sa protection contre des surtensions excessives possibles, on doit prouver que ces dispositifs n'ont pas limité les surtensions mesurées pendant les essais, par exemple en enregistrant le courant dans ces dispositifs.

4.4 *Caractéristiques du circuit d'alimentation*

L'impédance de la source L_s ne doit pas être inférieure à celle qui correspond au courant assigné de coupure en court-circuit du disjoncteur, ni supérieure de plus de 10 % à l'inductance du circuit de charge L .

La capacité de la source C_s doit être au moins 10 fois celle de la capacité de charge C_L .

Les essais peuvent être effectués à 50 Hz ou 60 Hz $\pm$ 10 %. Les essais effectués à l'une ou l'autre fréquence sont réputés équivalents.

La TTR du circuit d'alimentation a une influence négligeable sur celle du circuit complet et n'est donc pas spécifiée.

4.5 *Caractéristiques des câbles de connexion*

L'inductance totale $L_b = L_{b1} + L_{b2}$ des câbles peut être partagée entre le côté alimentation et le côté charge. La valeur de L_b n'est pas spécifiée mais sera aussi petite que possible.

4.6 *Caractéristiques des circuits de charge*

Les circuits de charge doivent comporter une réactance soit une réactance à air soit une réactance à noyau magnétique, avec une capacité parallèle et une résistance appropriées afin de produire une tension transitoire présumée dont les valeurs ne sont pas moins sévères que celles indiquées dans le tableau 2.

Un transformateur chargé par des inductances peut être utilisé pour les essais, si les exigences de tension transitoire du tableau sont respectées. Le transformateur doit être utilisé dans la partie non saturée de sa courbe de magnétisation et son inductance de fuite doit être faible, de préférence inférieure à 10 % de l'inductance de charge totale.

NOTE – L'utilisation d'un transformateur chargé par des inductances pour représenter la charge peut introduire une oscillation additionnelle. Une telle oscillation peut transformer les résultats d'essai par rapport à ceux susceptibles d'être obtenus avec un circuit de charge consistant en une réactance seule par l'introduction par exemple de zéros de courant supplémentaires. La mise en série des enroulements haute tension des transformateurs avec en outre la mise en parallèle des enroulements basse tension peut introduire une oscillation significative, et doit donc être évitée.

The requirements of 6.102.1.1 and 6.102.2b) of IEC 56 shall be fulfilled.

NOTE – The circuit-breaker may not be stressed correctly at re-ignitions when unit testing is applied. Therefore tests on a complete pole are preferred to verify the complete performance with regard to partial re-ignitions.

In all other cases and for single-enclosure type circuit-breakers a three-phase test circuit shall be used.

The switchgear under test includes the circuit-breaker with overvoltage protection devices if they are normally fitted.

When overvoltage limiting devices are added in the test circuit for its protection against possible excessive overvoltages, it shall be proven that these devices have not limited the overvoltages recorded during the tests, for instance by recording the current through these devices.

4.4 *Characteristics of the supply circuit*

The source impedance L_s shall not be smaller than that corresponding to the rated short-circuit current of the circuit-breaker, nor larger than 10 % of the inductance of the load circuit L .

The source capacitance C_s shall be at least 10 times the load capacitance C_L .

Tests may be made at 50 Hz or 60 Hz $\pm$ 10 %. Tests at either frequency are deemed to be equivalent.

The TRV of the supply circuit has a negligible influence on that of the complete circuit and is therefore not specified.

4.5 *Characteristics of the connecting leads*

The total inductance $L_b = L_{b1} + L_{b2}$ of the leads may be shared between the supply and the load side. The value of L_b is not specified but should be as small as possible.

4.6 *Characteristics of the load circuits*

The load circuits shall consist of a reactor, or alternatively, an air-cored or iron-cored reactance with appropriate shunt capacitance and resistance so as to produce a prospective transient voltage not less severe than the values specified in table 2.

A reactor-loaded transformer can be used for testing if the tabulated prospective transient voltage requirements are met. The transformer should be operated within the non-saturated part of its magnetizing curve and its leakage inductance should be low, preferably less than 10 % of the total load inductance.

NOTE – Use of a reactor-loaded transformer to represent the load may introduce an additional oscillation. Such an oscillation may affect the test results as compared to a load circuit consisting of a reactor only, for example by introducing additional current zeros. Series connection of high-voltage windings of separate transformers with connection of low-voltage windings in parallel, may cause significant oscillations and should therefore be avoided.

Tableau 2 – Tension transitoire présumée du circuit de charge incluant la connexion du disjoncteur

Tension assignée U kV	Tension de crête u_c kV	Temps t_3 $\begin{smallmatrix} +0 \\ -20 \end{smallmatrix}$ %	
		Circuit de charge 1	Circuit de charge 2
		50 Hz/60 Hz μs	50 Hz/60 Hz μs
12	28	9	16
17,5	40	11	20
24	55	13	23
36	85	16	28
52	120	45	80
72,5	170	53	93
100	230	87	155
123	290	97	172
145	340	105	187
170	400	114	202
245	380	166	295
300	470	184	326
362	560	202	359
420	650	218	386
550	850	243	432
800	1 240	294	521
U_c et t_3 comme définis dans 4.102 de la CEI 56			

NOTES

- 1 La tension transitoire est de la forme (1-cos) et les valeurs sont pour le premier pôle qui coupe.
- 2 Le facteur de premier pôle k_ϕ est de 1,0 pour les tensions assignées égales ou supérieures à 245 kV en supposant le neutre des réactances mis à la terre; il est de 1,5 pour les tensions assignées inférieures à 245 kV, en supposant le neutre des réactances isolé. On suppose que le facteur d'amplitude est de 1,9.

$$u_c = U \sqrt{\frac{2}{3}} \times k_\phi \times 1,9$$

- 3 Les valeurs t_3 sont basées sur une capacité moyenne C_L de:
 - 800 pF pour les tensions inférieures ou égales à 36 kV;
 - 1 750 pF pour les tensions supérieures à 36 kV et inférieures à 245 kV;
 - 2 600 pF pour les tensions supérieures ou égales à 245 kV.

Pour les tensions inférieures ou égales à 36 kV, la valeur de t_3 , est à multiplier par $\sqrt{2}$ si des réactances immergées dans l'huile sont utilisées. Ce facteur t_3 représente une valeur de C_L d'environ 1 750 pF.

Les valeurs de t_3 sont basées sur un calcul à 50 Hz. Il n'y a pas d'utilité à différencier le 50 Hz et le 60 Hz car les fréquences se recouvrent avec les tolérances indiquées.

Table 2 – Prospective transient voltage of load circuit, including connection to the circuit-breaker

Rated voltage U kV	Peak voltage u_c kV	Time parameter $t_3 \begin{smallmatrix} +0 \\ -20 \end{smallmatrix} \%$	
		Load circuit 1	Load circuit 2
		50 Hz/60 Hz μs	50 Hz/60 Hz μs
12	28	9	16
17,5	40	11	20
24	55	13	23
36	85	16	28
52	120	45	80
72,5	170	53	93
100	230	87	155
123	290	97	172
145	340	105	187
170	400	114	202
245	380	166	295
300	470	184	326
362	560	202	359
420	650	218	386
550	850	243	432
800	1 240	294	521
U_c and t_3 as defined in 4.102 of IEC 56			

NOTES

- 1 The transient voltage is of the (1-cos) form and the values are for the first pole-to-clear.
- 2 The first pole-to-clear factor k_ϕ is 1,0 for rated voltages of 245 kV and above assuming reactors with earthed neutral and 1,5 for rated voltages below 245 kV assuming reactors with isolated neutral. The amplitude factor is assumed to be 1,9.

$$u_c = U \sqrt{\frac{2}{3}} \times k_\phi \times 1,9$$

- 3 The values of t_3 are based on a mean capacitance value of C_L of:
 - 800 pF for voltages of 36 kV and below;
 - 1 750 pF for voltages above 36 kV and below 245 kV;
 - 2 600 pF for voltages of 245 kV and above.

For voltages of 36 kV and below the t_3 value should be multiplied by $\sqrt{2}$ if reactors of oil-immersed type are used. This t_3 value represents a C_L value of approximately 1 750 pF.

The values of t_3 are based on a calculation at 50 Hz. There is no need to differentiate between 50 Hz and 60 Hz since the frequencies are overlapping with the tolerances indicated.

4.6.1 Circuit de charge 1

La réactance L du circuit de charge doit être réglée pour donner les courants coupés suivants:

<i>Tension assignée</i> kV	<i>Courant d'essai</i> A
12 à 36	1 600
52 à 72,5	630
≥ 100	315
	} ±20 %

4.6.2 Circuit de charge 2

La réactance L de la charge doit être réglée pour donner les courants coupés suivants:

<i>Tension assignée</i> kV	<i>Courant d'essai</i> A
12 à 36	500
52 à 72,5	200
≥ 100	100
	} ±20 %

Néanmoins, si le disjoncteur est utilisé pour couper ou établir des courants de réactance inférieurs à ces valeurs, il convient de régler le circuit de charge 2 de façon à produire la limite inférieure de la gamme réelle de courant.

4.7 Mise à la terre du circuit d'essai

Pour des disjoncteurs de tension assignée inférieure à 245 kV, la charge du circuit d'essai triphasé doit être isolée, tandis que le neutre de l'alimentation est mis à la terre.

Pour des disjoncteurs de tension assignée égale ou supérieure à 245 kV, l'alimentation et la charge du circuit triphasé doivent être mises à la terre.

4.8 Tension d'essai

Pour les essais triphasés, la tension d'essai mesurée entre les phases au niveau du disjoncteur juste avant l'ouverture doit être, autant que possible, égale à la tension assignée U du disjoncteur (voir 6.104.7 de la CEI 56).

Pour des essais monophasés en laboratoire, la tension d'essai mesurée au niveau du disjoncteur juste avant l'ouverture doit être, autant que possible, égale au produit de $U / \sqrt{3}$ par le facteur suivant:

- 1,0 pour des essais sur pôle complet de disjoncteurs de tension assignée égale ou supérieure à 245 kV;
- 1,5 pour des essais sur pôle complet de disjoncteurs de tension assignée égale ou inférieure à 170 kV.

NOTE b) représente le cas des réactances mises à la terre dans des réseaux isolés et il est recommandé d'utiliser les résultats d'essais avec précaution.

4.6.1 Load circuit 1

The reactance L of the load circuit shall be adjusted to give the following breaking currents:

<i>Rated voltage</i> kV	<i>Test current</i> A	
12 to 36	1 600	} $\pm 20 \%$
52 to 72,5	630	
≥ 100	315	

4.6.2 Load circuit 2

The reactance L of the load shall be adjusted to give the following breaking currents:

<i>Rated voltage</i> kV	<i>Test current</i> A	
12 to 36	500	} $\pm 20 \%$
52 to 72,5	200	
≥ 100	100	

However, if the circuit-breaker is used to switch reactor currents smaller than these values, the load circuit 2 should be adjusted to give the lower limit of the actual current range.

4.7 Earthing of the test circuit

For circuit-breakers with rated voltages below 245 kV, the load of the three-phase test circuit shall be unearthed, while the neutral point of the supply is earthed.

For circuit-breakers rated 245 kV and above, both the supply and the load of the three-phase test circuit shall be earthed.

4.8 Test voltage

For three-phase tests, the test voltage measured between the phases at the circuit-breaker location immediately prior to the opening shall, as near as possible, be equal to the rated voltage U of the circuit-breaker (see 6.104.7 of IEC 56).

For single-phase laboratory tests, the test voltage measured at the circuit-breaker location immediately before the opening shall, as nearly as possible, be equal to the product of $U/\sqrt{3}$ and the following factor:

- a) 1,0 for full pole tests of circuit-breakers rated 245 kV and above;
- b) 1,5 for full pole tests of circuit-breakers rated 170 kV and below.

NOTE b) represents earthed reactors in unearthed systems and test results should therefore be used with care.

Pour les essais par élément séparé, la tension d'essai est choisie pour correspondre à l'élément du pôle du disjoncteur le plus contraint (voir 6.102.3.2 de la CEI 56).

NOTE – La valeur du courant arraché obtenue sur des essais par élément séparé peut différer de celle obtenue sur le disjoncteur complet. Le niveau d'arrachement est approximativement proportionnel à la racine carrée du nombre de chambres de coupure placées en série (voir section 5: Guide d'application).

4.9 Séquences d'essai

Les essais de coupure et d'établissement de réactance consistent en deux séries d'essais triphasés ou trois séries d'essais monophasés en utilisant le circuit d'alimentation détaillé en 4.4 et les circuits de charge détaillés en 4.6.1 et 4.6.2.

Vingt coupures doivent être effectuées avec chaque circuit de charge avec les débuts des ordres de déclenchement répartis à des intervalles de 9 degrés électriques environ pour les essais triphasés et de 18 degrés électriques environ pour les essais monophasés.

Pour les essais monophasés, une troisième série d'essais doit être exécutée, consistant en 18 coupures. Cette série d'essais est à effectuer avec le circuit de charge 2 et pour une durée d'arc voisine de celle ayant conduit à des réallumages lors de la série d'essais précédente avec le circuit de charge 2. Six essais de coupure sont à effectuer avec le début de l'ordre de déclenchement au point qui a donné la surtension maximale u_w , six essais de coupure avec le début de l'ordre de déclenchement retardé de 9 degrés électriques et six essais de coupure avec le début de l'ordre de déclenchement avancé de 9 degrés électriques.

Si aucun réallumage n'est survenu dans la série d'essais avec le circuit de charge 2, la troisième série d'essais doit consister en six coupures avec le début de l'ordre de déclenchement au point qui a donné la durée d'arc la plus courte, six coupures avec le début de l'ordre de déclenchement retardé de 9 degrés électriques et six coupures avec le début de l'ordre de déclenchement retardé de 18 degrés électriques.

Les séquences d'essais sont résumées dans le tableau 3.

Tableau 3 – Séquences d'essais d'établissement et de coupure de courant de réactance

Séquence	Nombre d'essais de coupure		Courant d'essai déterminé par
	Triphasé	Monophasé	
1	20	20	Circuit de charge 1 (4.6.1)
2	20	20	Circuit de charge 2 (4.6.2)
3	–	18	Circuit de charge 2 (4.6.2)

La valeur de courant utilisé dans les séquences 2 et 3 est le courant minimum de réactance shunt. Néanmoins si le disjoncteur est utilisé pour couper ou établir des courants de réactance inférieurs à ces valeurs, il convient d'ajuster le courant pour les séquences 2 et 3 à la limite inférieure de la gamme réelle de courant.

For unit tests, the test voltage shall be chosen to correspond to the most stressed unit of the pole of the circuit-breaker (see 6.102.3.2 of IEC 56).

NOTE – The value of chopped current obtained on unit tests may differ from that of the complete circuit-breaker. The chopping level is approximately proportional to the square root of the number of series-connected breaking units (refer to section 5: Application guide).

4.9 Test duties

The reactor switching tests shall consist of two three-phase test series or three single-phase test series using the supply circuit detailed in 4.4 and the load circuits detailed in 4.6.1 and 4.6.2.

Twenty break tests shall be made with each load circuit with the initiation of the tripping impulse distributed at intervals of approximately 9 electrical degrees for three-phase tests and of 18 electrical degrees for single-phase tests.

For single-phase tests, the third test series consisting of 18 break tests shall be performed with load circuit 2 around the arc duration at which the re-ignitions occurred in the previous test series with load circuit 2. Six break tests shall be made with the initiation of the tripping impulse at the point that gave the highest breakdown voltage u_w , six break tests with the initiation of the tripping impulse retarded by 9 electrical degrees and six break tests with the initiation of the tripping impulse advanced by 9 electrical degrees.

If no re-ignition occurs in the test series with load circuit 2, the third test series shall consist of six break tests with the initiation of the tripping impulse at the point that gave the shortest arcing time, six break tests with the initiation of the tripping impulse retarded by 9 electrical degrees and six break tests with the initiation of the tripping impulse retarded by a further 9 electrical degrees.

The test duties are summarized in table 3.

Table 3 – Test duties at reactor current switching tests

Test duty	Number of breaking operations		Test current determined by
	Three-phase	Single-phase	
1	20	20	Load circuit 1 (4.6.1)
2	20	20	Load circuit 2 (4.6.2)
3	–	18	Load circuit 2 (4.6.2)

The current value used in test duty 2 and 3 is the minimum shunt reactor switching current. However, if the circuit-breaker is to be used to switch reactor currents smaller than these values, the current for test duty 2 and 3 should be adjusted to the lower limit of the actual current range.

4.10 Mesurages

Les grandeurs suivantes, au moins, devraient être enregistrées à l'oscillographe ou avec d'autres techniques d'enregistrement adéquates, avec une bande passante et une résolution en temps suffisantes pour déterminer:

- la tension côté alimentation, phase-terre;
- la tension entre les bornes du disjoncteur;
- la tension côté charge, phase-terre, aux bornes de la réactance de charge (ou au primaire du transformateur dans le cas de transformateurs chargés par des réactances);
- la tension par rapport à la terre du point neutre côté charge (dans les essais triphasés);
- le courant dans le disjoncteur.

4.11 Résultats d'essais

Le disjoncteur aura subi les essais avec succès si les conditions suivantes sont remplies:

- a) le courant a été effectivement interrompu;
- b) l'état du disjoncteur après les séries d'essais doit correspondre à celui de 6.102.8.4 de la CEI 56.

NOTE – Un examen visuel suffit pour déceler un claquage à des endroits qui pourraient avoir des effets nuisibles sur le disjoncteur et son comportement.

4.12 Rapport d'essais

En plus des exigences de l'annexe CC de la CEI 56, le rapport d'essais comprend une description minutieuse du circuit y compris les détails suivants:

- caractéristiques du circuit d'alimentation incluant les câbles de connexion;
- caractéristiques du circuit de charge incluant les câbles de connexion.

Les caractéristiques suivantes des tensions aux bornes de la réactance doivent être évaluées pour chaque essai (se référer aux définitions de la figure 2 pour les circuits d'essais triphasés et de la figure 5 pour les courants d'essais monophasés):

- u_{ma} crête de la tension d'extinction à la terre;
- u_{in} tension initiale (à l'instant de l'arrachement);
- u_{mr} crête de la tension de rétablissement à la terre (si plus grande que u_{ma});
- u_w tension aux bornes du disjoncteur lors d'un réallumage.

Sur demande les caractéristiques suivantes du disjoncteur peuvent être évaluées:

- courant arraché;
- accroissement de la tenue diélectrique entre les contacts du disjoncteur après l'interruption.

L'utilisation des résultats d'essais pour prédire les surtensions dans des installations réelles est traité en section 5: Guide d'application.

4.10 Test measurements

At least the following quantities should be recorded by oscillograph or other suitable recording techniques with bandwidth and time resolution high enough to determine:

- supply side voltage, phase-to-earth;
- voltage across circuit-breaker terminals;
- load side voltage, phase-to-earth, at the terminal of the load reactor (or the transformer primary if tests are performed using reactor loaded transformers);
- load side neutral point voltage to earth (in three-phase tests);
- current through the circuit-breaker.

4.11 Test results

The circuit-breaker shall have successfully passed the tests if the following conditions are fulfilled:

- a) the current is successfully interrupted;
- b) the condition of the circuit-breaker after the test series corresponds to the condition in 6.102.8.4 of IEC 56.

NOTE – Visual inspection is considered adequate to reveal re-ignition breakdown in locations that could have detrimental effects on the circuit-breaker and its behaviour.

4.12 Test report

In addition to the requirements of appendix CC of IEC 56, the test report shall include a thorough description of the circuit including the following details:

- characteristics of the supply circuit including connecting leads;
- characteristics of the load circuit including connecting leads.

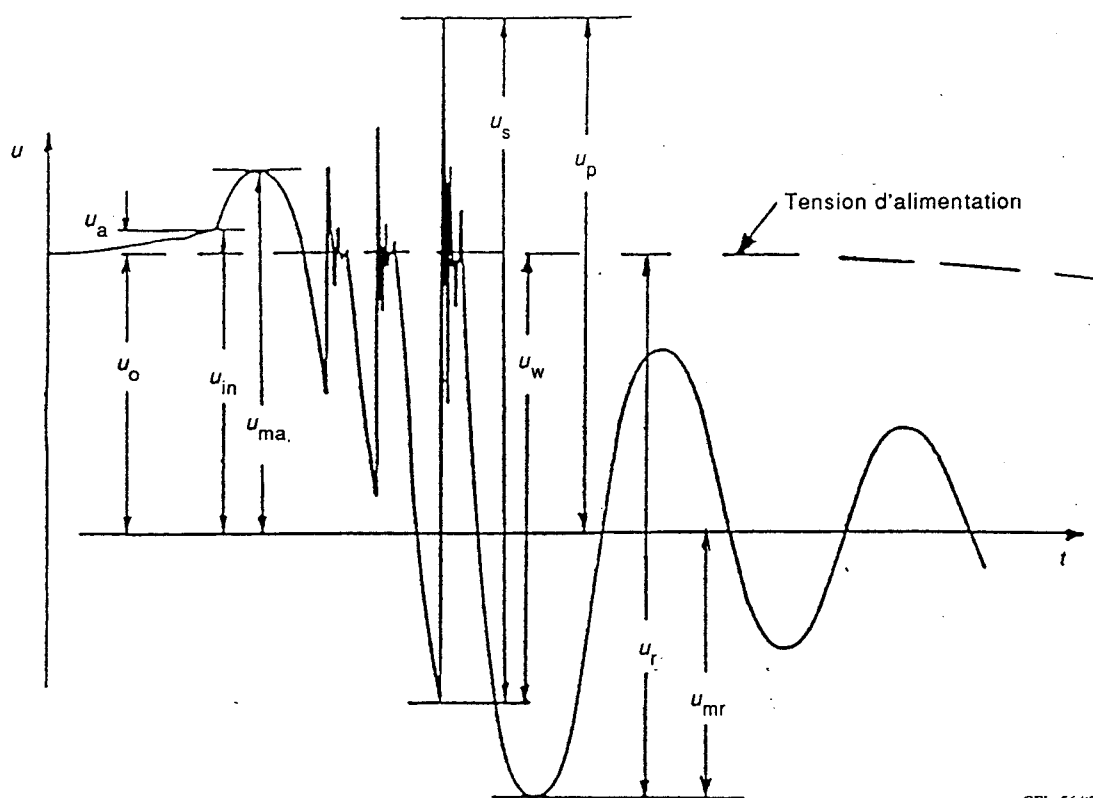
The following characteristics of the voltages at the reactor terminals at each test shall be evaluated (refer to definitions in figure 2 for three-phase test circuits and figure 5 for single-phase test circuits):

- u_{ma} suppression peak voltage to earth;
- u_{in} initial voltage (at the instant of chopping);
- u_{mr} recovery peak voltage to earth (if more than u_{ma});
- u_w voltage across circuit-breaker at the instant of re-ignition.

On request, the following circuit-breaker characteristics may be evaluated:

- chopping current;
- rise of dielectric strength between circuit-breaker contacts after interruption.

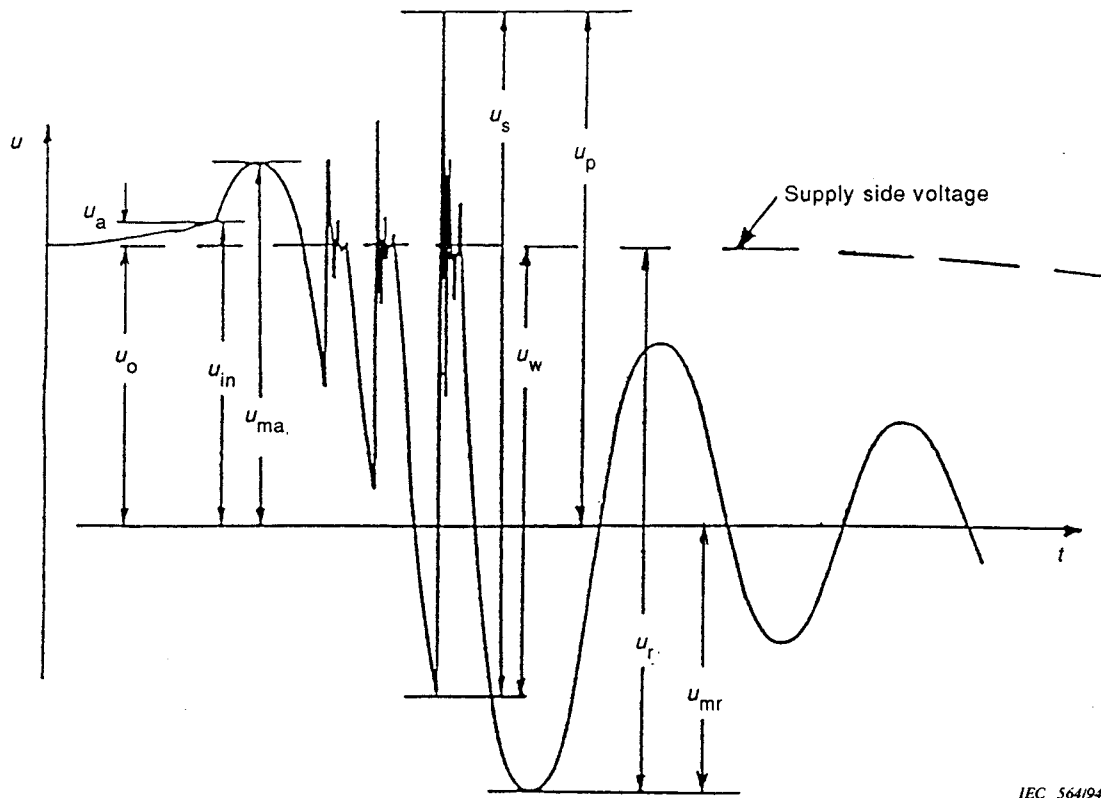
The application of the test results to predict overvoltages in actual installations is treated in section 5: Application guide.



CEI 564/94

- u_o = valeur crête à la terre de la tension à fréquence industrielle
- u_a = tension d'arc du disjoncteur
- u_{in} = $u_o + u_a$ = tension initiale à la terre à l'instant d'arrachement du courant
- u_{ma} = crête de la tension d'extinction à la terre
- u_{mr} = crête de la tension de rétablissement à la terre
- u_p = surtension maximale à la terre (peut être = u_{ma} ou u_{mr})
- u_s = amplitude crête à crête maximale de la tension au réallumage
- u_w = tension aux bornes du disjoncteur lors du réallumage
- u_r = tension aux bornes du disjoncteur à la crête de la tension de rétablissement

Figure 5 – Illustration des tensions transitoires lors d'un essai monophasé



IEC 564/94

- u_o = power frequency voltage crest value to earth
- u_a = arc voltage drop of circuit-breaker
- $u_{in} = u_o + u_a$ = initial voltage to earth at the moment of current chopping
- u_{ma} = suppression peak voltage to earth
- u_{mr} = recovery peak voltage to earth
- u_p = maximum overvoltage to earth (could be = u_{ma} or u_{mr})
- u_s = maximum peak-to-peak voltage excursion at re-ignition
- u_w = voltage across circuit-breaker at re-ignition
- u_r = voltage across circuit-breaker at the recovery voltage peak

Figure 5 – Illustration of transient voltages for a single-phase test

Section 5: Guide d'application pour l'établissement et la coupure de courant de réactance shunt par des disjoncteurs à courant alternatif à haute tension

5.1 *Domaine d'application*

Ce guide d'application traite des disjoncteurs à courant alternatif à haute tension utilisés pour l'établissement et la coupure de réactance shunt.

Le guide concerne les cas spécifiques d'établissement et de coupure de réactances shunt directement mises à la terre, de réactances shunt non mises à la terre et de réactances shunt mises à la terre par une réactance de neutre. Les réactances directement mises à la terre sont courantes dans les réseaux de tension supérieure à 72,5 kV tandis que les réactances non mises à la terre sont fréquentes en réseau MT. Les schémas avec réactance de neutre sont généralement uniquement utilisés dans les réseaux THT.

Bien que ce guide concerne les disjoncteurs, il est reconnu et admis que d'autres dispositifs d'établissement-coupure tels que les interrupteurs haute tension peuvent être utilisés pour les établissements-coupure de courant de réactance shunt; ce guide s'applique également dans ce cas.

Ce guide repose en grande partie sur les travaux du groupe de travail CIGRÉ 13.02 (voir références [1], [2], [3], [4], [5], [6]*.

NOTE – Le système d'unités SI est utilisé dans ce guide, c'est-à-dire V, A, s, H, F, Hz sauf si spécifié autrement.

5.2 *But*

Le but de ce guide est d'expliquer à l'utilisateur les problèmes liés à l'établissement-coupure de courant de réactance shunt.

Ce guide indique principalement à l'utilisateur les séquences d'établissement-coupure, les surtensions créées et la manière de les maîtriser. De plus, le guide précise les caractéristiques des disjoncteurs et les méthodes pour prédire leurs performances sur le terrain à partir des résultats d'essais.

5.3 *Conditions générales d'utilisation*

5.3.1 *Tension maximale d'utilisation*

Il est recommandé que la tension de fonctionnement permanente ne dépasse pas la tension assignée du disjoncteur. Les performances des appareils à des tensions différentes de celle appliquée lors des essais d'établissement-coupure peuvent être prédites en utilisant les méthodes décrites dans ce guide.

5.3.2 *Fréquence*

La fréquence assignée d'alimentation est de 50 Hz ou 60 Hz. Les essais effectués à une fréquence sont valables pour l'autre fréquence.

* Les chiffres entre crochets renvoient à l'annexe G, «Bibliographie».

Section 5: Application guide for a.c. high-voltage circuit-breakers for shunt reactor current switching

5.1 *Applicability*

This application guide applies to a.c. high-voltage circuit-breakers rated for shunt reactor switching.

The guide covers the specific cases of switching directly earthed shunt reactors, un-earthed shunt reactors and shunt reactors earthed through a neutral reactor. Directly earthed reactors are common on systems above 72,5 kV, while unearthed reactors are commonly applied on medium-voltage systems. Neutral reactor schemes are usually only applied on EHV systems.

Whereas this application guide is directed towards circuit-breakers, it is recognized and accepted that other switching devices such as high-voltage switches are capable of shunt reactor current switching and this guide shall apply as appropriate.

The guide is based to a significant extent on the work of CIGRÉ working group 13.02 (refer to references [1], [2], [3], [4], [5], [6]*).

NOTE – The SI unit system is used throughout this guide, i.e. V, A, s, H, F, Hz, unless otherwise stated.

5.2 *Purpose*

This guide is intended for general use in the application of circuit-breakers for shunt reactor current switching.

The purpose of the guide is to describe, principally for the benefit of the user, the reactor current switching duty, the overvoltages generated and the control of those overvoltages. The guide further details the specification of circuit-breakers and procedures to predict field performance based on test data.

5.3 *General application conditions*

5.3.1 *Maximum voltage for application*

The continuous operating voltage should not exceed the rated voltage for the circuit-breaker. When a switching device that has been subjected to reactor switching tests is applied at voltages that differ from the test voltage, its performance can be predicted using the methods in this guide.

5.3.2 *Frequency*

The rated power system frequency is 50 Hz or 60 Hz. Tests at one frequency are valid also for the other frequency.

* The figures in square brackets refer to annex G, "Bibliography".

5.3.3 *Courant de charge de réactance shunt*

Les courants de charge de réactance shunt font partie de la catégorie des petits courants inductifs. Ils sont faibles comparés aux capacités de coupure de courant de défaut des disjoncteurs haute tension. La capacité des disjoncteurs à couper de faibles courants inductifs ne présente généralement pas d'intérêt mais il convient de la démontrer pour les disjoncteurs utilisés dans ce but.

Il est recommandé que le constructeur fixe la plage de courant de réactance pour laquelle l'appareillage est prévu:

- le courant maximum de coupure de réactance shunt d'un dispositif de coupure est généralement égal au courant permanent assigné de l'appareil;
- le courant minimum de coupure de réactance shunt d'un dispositif de coupure est le plus faible courant de réactance shunt pour lequel l'appareil est prévu et est normalement égal au plus faible courant d'essai utilisé au cours des essais d'établissement-coupure de réactance shunt selon la section 4.

5.3.4 *Capacité de coupure de courant de défaut*

Les disjoncteurs utilisés pour commuter les réactances shunt peuvent ou non présenter des capacités de coupure de courant de défaut. Dans ce dernier cas, il convient que la valeur du courant de courte durée admissible du disjoncteur commutant la réactance shunt soit égale au pouvoir de coupure de courant de défaut du disjoncteur côté source assurant la protection.

5.3.5 *Durée de coupure*

Se référer au VEl 441-17-39.

Le disjoncteur interrompra typiquement le courant à son premier passage par zéro après la séparation des contacts, mais peut ne pas être immédiatement capable de tenir les niveaux importants de tensions de rétablissement pouvant apparaître entre ses contacts. Ceci peut provoquer un ou plusieurs réallumages qui peuvent être immédiatement interrompus ou suivis par une autre boucle de courant. Dans ce cas, une coupure réussie est généralement réalisée au prochain passage par zéro du courant.

5.3.6 *Surtensions transitoires*

Les surtensions transitoires sont l'un des aspects importants à prendre en considération dans l'utilisation de disjoncteurs pour la coupure de faibles courants inductifs. Ces surtensions sont de deux sortes.

5.3.6.1 *Surtensions d'arrachement*

Les surtensions d'arrachement sont provoquées par l'arrachement du courant dans le dispositif de coupure avant le passage par zéro naturel du courant de charge. La contrainte résultante sur l'isolation de la réactance shunt ressemble à celle d'une onde de manoeuvre.

5.3.6.2 *Surtensions de réallumage*

Des surtensions transitoires raides apparaissent, lors de réallumages du dispositif de coupure, à cause de la tension de rétablissement élevée entre contacts de coupure. La contrainte résultante sur l'isolation de la réactance shunt ressemble à celle d'une onde de foudre.

5.3.3 *Shunt reactor load current*

Shunt reactor load currents are referred to generically as small inductive currents. They are small compared to high-voltage circuit-breaker fault current interrupting capability. The capability of circuit-breakers to interrupt small inductive currents is generally not a concern but should be demonstrated for circuit-breakers intended for this purpose.

The manufacturer should state the range of reactor switching current that the switching device is suited to handle:

- the maximum reactor switching current of a switching device is usually equal to the rated continuous current of the device;
- the minimum reactor switching current of a switching device is the lowest reactor current the device is recommended to switch and is normally equal to the lowest test current during the reactor switching tests according to section 4.

5.3.4 *Fault interrupting capability*

Circuit-breakers applied for switching shunt reactors may or may not be required to have a fault interrupting capability. In the latter case, the short-time withstand current capability of the reactor circuit-breaker should equal the short-circuit breaking capacity of the supply side circuit-breaker providing fault protection.

5.3.5 *Break time*

Refer to IEC 441-17-39.

The circuit-breaker will typically interrupt the current at the first current zero after contact parting, but may not be immediately capable of withstanding the high magnitude recovery voltages which can then appear across the contacts. This may result in one or more re-ignitions, which may be immediately interrupted or followed by a further loop of power frequency current. In this case, a successful interruption usually takes place in the next current zero.

5.3.6 *Transient overvoltages*

An important consideration for application of circuit-breakers for small inductive current switching are the generated transient overvoltages which are of two kinds.

5.3.6.1 *Chopping overvoltages*

Chopping overvoltages are generated due to the current being chopped in the switching device before the natural current zero of the load current. The resultant stress on the reactor insulation is similar to that due to a switching impulse.

5.3.6.2 *Re-ignition overvoltages*

Steep voltage transients occur at re-ignitions of the switching device due to high recovery voltage across the opening contact gap. The resultant stress on the reactor insulation is similar to that due to a lightning impulse.

5.3.7 Fréquence de manoeuvre

Les réactances shunt sont commutées fréquemment, souvent chaque jour, afin de commander ou de compenser des changements dans la charge et dans la configuration du réseau. Il convient de tenir compte de cet aspect lors du choix d'un disjoncteur destiné à cet usage.

5.4 Conditions d'établissement et de coupure

5.4.1 Généralités

Trois cas particuliers de configuration de réactances shunt sont étudiés dans le corps du texte et dans les annexes c'est-à-dire les réactances directement mises à la terre, les réactances non mises à la terre et les réactances mises à la terre à travers une réactance de neutre.

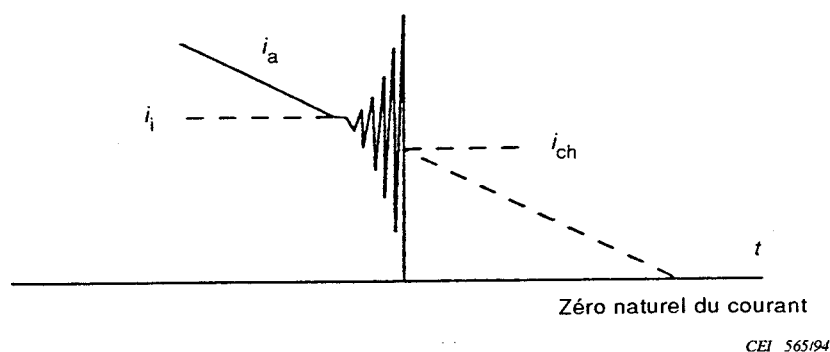
5.4.2 Caractéristiques des réactances shunt et des stations d'essais

Etant donné que l'établissement et la coupure de courant de réactance shunt résultent pour une part de l'interaction entre la réactance et le circuit d'essai, les caractéristiques des deux sont à prendre en compte. Les caractéristiques de réactances shunt sont décrites en annexe A, tandis que celles des réseaux et stations d'essais sont décrites en annexe B. Il convient de prendre en compte l'importance des valeurs réelles des capacités côté source et côté charge.

5.4.3 Caractéristiques des disjoncteurs

En principe, les disjoncteurs n'ont pas de difficulté à interrompre le courant. En fait, le courant est prématurément forcé à zéro, phénomène appelé arrachement de courant.

L'arrachement du courant est provoqué par une instabilité de l'arc, qui se traduit par une oscillation de courant à amortissement négatif qui se superpose au courant de charge. L'amplitude de l'oscillation croît rapidement entraînant un passage par zéro du courant où le disjoncteur coupe habituellement (figure 6). La fréquence de l'oscillation est telle que la variation du courant (courant arraché) peut être raisonnablement considérée comme instantanée.



- i_a = courant dans le disjoncteur
- i_i = valeur du courant conduisant à l'instabilité
- i_{ch} = valeur du courant arraché

Figure 6 – Oscillation instable du courant conduisant à un passage par zéro et coupure réussie

5.3.7 Frequency of operation

Shunt reactors are switched frequently, often daily, to control and compensate for changes in system loading and configuration. In the selection of a circuit-breaker for this duty, consideration should be given to this matter.

5.4 Switching conditions

5.4.1 General

Three specific shunt reactor switching cases are considered in the main part and in the annexes, namely directly earthed reactors, unearthed reactors and reactors earthed through a neutral reactor.

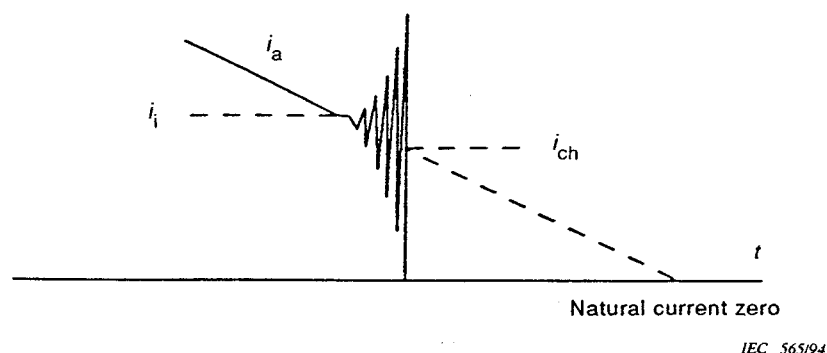
5.4.2 Shunt reactor and station characteristics

Given that shunt reactor switching is interactive, characteristics of the reactor and the circuit need to be considered. Shunt reactor characteristics are discussed in annex A, while applicable system and station characteristics are discussed in annex B. The importance of effective capacitance values on both the load and supply side should be noted.

5.4.3 Circuit-breaker characteristics

Basically, circuit-breakers have no difficulty interrupting the current; in fact, the current is forced prematurely to zero, a phenomenon referred to as current chopping.

Current chopping is caused by arc instability, which exhibits itself in the form of a negatively damped current oscillation superimposed on the load current. The oscillation amplitude increases rapidly, creating a current zero, at which the circuit-breaker usually interrupts (figure 6). The frequency of the oscillation is such that current chopping can reasonably be assumed to be instantaneous.



i_a = current through circuit-breaker

i_i = current value for instability limit

i_{ch} = effective current chopping value

Figure 6 – Instability oscillations leading to a current zero and current interruption