

RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT

**CEI
IEC
1633**

Première édition
First edition
1995-04

**Disjoncteurs à courant alternatif
à haute tension –
Guide pour la procédure d'essai d'établissement
et de coupure de courants de court-circuit
et de courants de charge pour les disjoncteurs
sous enveloppe métallique et à cuve
mise à la terre**

**High-voltage alternating current
circuit-breakers –
Guide for short-circuit and switching
test procedures for metal-enclosed
and dead tank circuit-breakers**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1633: 1995

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

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 60 000 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
1633**

Première édition
First edition
1995-04

**Disjoncteurs à courant alternatif
à haute tension –
Guide pour la procédure d'essai d'établissement
et de coupure de courants de court-circuit
et de courants de charge pour les disjoncteurs
sous enveloppe métallique et à cuve
mise à la terre**

**High-voltage alternating current
circuit-breakers –
Guide for short-circuit and switching
test procedures for metal-enclosed
and dead tank circuit-breakers**

© CEI 1995 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

V

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Domaine d'application et objet	8
2 Références normatives	8
3 Généralités	8
3.1 Caractéristiques particulières des disjoncteurs sous enveloppe métallique soumis aux essais de fermeture et de coupure en court-circuit et en charge	8
3.2 Nombre réduit d'éléments destinés aux essais	10
3.3 Description générale des caractéristiques particulières et des interactions éventuelles	10
3.3.1 Influence des éléments environnants du poste	12
3.3.2 Interaction entre les pôles, les éléments de coupure et les enveloppes	12
4 Essais d'un pôle unique dans une seule enveloppe	14
4.1 Essais de défaut aux bornes	14
4.1.1 Essais unipolaires des disjoncteurs tripolaires	14
4.1.2 Essais par éléments séparés	16
4.2 Essais de défaut proche en ligne	18
4.3 Etablissement et coupure de courants capacitifs	18
4.3.1 Essais unipolaires des disjoncteurs tripolaires	24
4.3.2 Essais par éléments séparés	24
4.4 Etablissement et coupure en discordance de phases	26
4.4.1 Essais unipolaires des disjoncteurs tripolaires	26
4.4.2 Essais par éléments séparés	26
5 Essais de trois pôles dans une seule enveloppe	28
5.1 Essais de défaut aux bornes	28
5.1.1 Procédure d'essais	28
5.1.2 Circuits d'essais	32
5.2 Essais de défaut proche en ligne	32
5.3 Essais d'établissement et de coupure de courant capacitif	34
5.4 Essai d'établissement et de coupure en discordance de phases	34
Figures	36

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 Scope and object	9
2 Normative references	9
3 General	9
3.1 Special features of metal-enclosed circuit-breakers with respect to short-circuit making and breaking tests and switching tests	9
3.2 Reduced number of units for testing purposes	11
3.3 General description of special features and possible interactions	11
3.3.1 Influence of the surrounding parts of a substation	13
3.3.2 Interaction between poles, interrupting units and enclosures	13
4 Tests for single pole in one enclosure	15
4.1 Short-circuit making and breaking tests	15
4.1.1 Single-pole testing of a three-pole circuit-breaker	15
4.1.2 Unit testing	17
4.2 Short-line fault tests	19
4.3 Switching of capacitive currents	19
4.3.1 Single-pole testing of three-pole circuit-breakers	25
4.3.2 Unit testing	25
4.4 Out-of-phase switching	27
4.4.1 Single-pole testing of three-pole circuit-breakers	27
4.4.2 Unit testing	27
5 Tests for three poles in one enclosure	29
5.1 Terminal fault tests	29
5.1.1 Test procedure	29
5.1.2 Test circuits	33
5.2 Short-line fault tests	33
5.3 Capacitive current switching tests	35
5.4 Out-of-phase switching test	35
Figures	37

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISJONCTEURS À COURANT ALTERNATIF À HAUTE TENSION – GUIDE POUR LA PROCÉDURE D'ESSAI D'ÉTABLISSEMENT ET DE COUPURE DE COURANTS DE COURT-CIRCUIT ET DE COURANTS DE CHARGE POUR LES DISJONCTEURS SOUS ENVELOPPE MÉTALLIQUE ET À CUVE MISE À LA TERRE

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.

La CEI 1633, 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.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**HIGH-VOLTAGE ALTERNATING CURRENT CIRCUIT-BREAKERS –
GUIDE FOR SHORT-CIRCUIT AND SWITCHING TEST PROCEDURES
FOR METAL-ENCLOSED AND
DEAD TANK CIRCUIT-BREAKERS**

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.

IEC 1633, 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.

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

CDV	Rapports de vote
17A(SEC)380	17A(SEC)402
	17A(SEC)402A
	17A(SEC)402B

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne 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 de l'appareillage à haute tension 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 œuvre 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.

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

CDV	Reports on voting
17A(SEC)380	17A(SEC)402
	17A(SEC)402A
	17A(SEC)402B

Full information on the voting for the approval of this technical report can be found in the report 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 switchgear and controlgear 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.

DISJONCTEURS À COURANT ALTERNATIF À HAUTE TENSION – GUIDE POUR LA PROCÉDURE D'ESSAI D'ÉTABLISSEMENT ET DE COUPURE DE COURANTS DE COURT-CIRCUIT ET DE COURANTS DE CHARGE POUR LES DISJONCTEURS SOUS ENVELOPPE MÉTALLIQUE ET À CUVE MISE À LA TERRE

1 Domaine d'application et objet

Le présente rapport technique contient des informations et des recommandations relatives aux circuits et aux procédures d'essais utilisées concernant les essais de type d'établissement et de coupure de courants de court-circuit et de courant de charge des disjoncteurs sous enveloppe métallique et à cuve mise à la terre. D'autres méthodes ne sont pas à écarter, à condition qu'elles apportent les contraintes correctes au disjoncteur. Les autres essais, tels que les essais diélectriques, les essais individuels de série, les essais de mise en service et les essais sur site ne font pas partie du domaine d'application de ce rapport.

Les différentes situations d'essais sont évaluées et des circuits d'essais spéciaux ainsi que des précautions particulières requises pour l'utilisation de circuits d'essais développés pour du matériel utilisé à l'extérieur sont indiqués. Les essais décrits peuvent en principe être effectués avec des circuits d'essais directs et des circuits d'essais synthétiques.

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

CEI 427: 1989, *Essais synthétiques des disjoncteurs à courant alternatif à haute tension*

3 Généralités

3.1 *Caractéristiques particulières des disjoncteurs sous enveloppe métallique soumis aux essais de fermeture et de coupure en court-circuit et en charge*

Les disjoncteurs sous enveloppe métallique doivent assurer leurs fonctions dans des conditions qui sont différentes de celles qui prévalent dans les enveloppes isolantes.

HIGH-VOLTAGE ALTERNATING CURRENT CIRCUIT-BREAKERS – GUIDE FOR SHORT-CIRCUIT AND SWITCHING TEST PROCEDURES FOR METAL-ENCLOSED AND DEAD TANK CIRCUIT-BREAKERS

1 Scope and object

This technical report contains information and recommendations for test circuits and procedures for type testing relevant to short-circuit making and breaking and switching performance of metal-enclosed and dead tank circuit-breakers. Other methods are not excluded, provided that they supply the correct stresses to the circuit-breaker. Other tests, such as dielectric tests, routine tests, commissioning tests and site tests are not within the scope of this report.

The various test cases are evaluated and special test circuits are given, or special precautions required to use test circuits developed for open-air equipment. The tests described can be made in principle in both direct and synthetic circuits.

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

IEC 427: 1989, *Synthetic testing of high-voltage alternating current circuit-breakers*

3 General

3.1 *Special features of metal-enclosed circuit-breakers with respect to short-circuit making and breaking tests and switching tests*

Circuit-breakers in metal enclosures have to fulfil their duties under conditions which are different from those prevailing in insulating enclosures.

Les principales caractéristiques susceptibles d'avoir des conséquences sur les essais d'établissement et de coupure sont les suivantes:

- 1) Les organes de coupure font partie intégrante de la structure d'un poste donné. Par conséquent, les composants du poste qui sont voisins des organes de coupure doivent être pris en compte lors de la détermination des conditions d'essais.
- 2) Plusieurs organes de coupure d'un pôle, ou même des trois pôles, peuvent être placés dans une enveloppe commune. Divers composants des organes de coupure du poste aussi bien que des parties sous tension ou mises à la terre sont très proches les uns des autres du fait de la résistance disruptive élevée du milieu isolant. Ce phénomène peut générer de fortes interactions, de nature physique variée, entre les éléments des organes de coupure et leur environnement. Il en résulte également une haute valeur de la capacité et une faible valeur de l'inductance des éléments soumis aux essais et des éléments avoisinants.

Les conséquences de telles interactions doivent être prises en compte lors de la détermination des exigences d'essais.

- 3) Dans les installations sous enveloppe métallique, les surfaces isolantes sont exposées à une contrainte diélectrique relativement élevée, ce qui peut les rendre sensibles aux dépôts.

3.2 *Nombre réduit d'éléments destinés aux essais*

Dans les installations d'essais à grande puissance, les dispositifs d'essais utilisés ne permettent pas toujours de soumettre un disjoncteur complet ou un pôle entier aux essais, même dans des laboratoires utilisant des circuits d'essais synthétiques.

Par conséquent, les essais doivent être effectués sur des parties d'un disjoncteur complet.

En fonction du choix qui est fait, les interactions existant entre l'élément soumis à l'essai et les éléments non soumis à l'essai doivent être étudiées:

- interactions entre les éléments des disjoncteurs et les parties environnantes du poste;
- interactions entre les pôles, ou entre les pôles et l'enveloppe;
- interactions entre les différents éléments, ou entre les éléments et l'enveloppe.

Dans cette étude, il est nécessaire de faire la distinction entre:

- un pôle unique situé dans une seule enveloppe et
- trois pôles situés dans une même enveloppe.

Il est, par ailleurs, nécessaire de faire la distinction entre deux types différents de contraintes qui peuvent, habituellement, être traités séparément:

- contrainte de l'intervalle de coupure;
- contrainte de l'isolation entre les phases adjacentes ou entre les phases et l'enveloppe.

3.3 *Description générale des caractéristiques particulières et des interactions éventuelles*

Lorsque les interactions sont susceptibles d'influencer les résultats des essais et ne peuvent pas être prises en compte lors des essais sur les éléments séparés ou sur un pôle unique, les essais doivent être effectués sur un pôle entier ou sur trois pôles.

The main features with certain consequences on making and breaking tests are:

- 1) The switching units are integrated parts of a given substation design. Thus, the surrounding components of a substation have to be considered when defining the test conditions.
- 2) Several breaking units of one pole, or even all three poles, can be placed within a common enclosure. Various components of switching units of the substation as well as other live and earthed parts, are in close spatial neighbourhood, due to the high dielectric strength of the insulating medium. This may lead to strong interactions of different physical nature between parts of switching units and their surroundings. It also results in a relatively high capacitance and low inductance of tested and surrounding parts.

The implications of such interactions have to be considered in determining the test requirements.

- 3) In metal-enclosed equipment, the insulating surfaces are exposed to a relatively high dielectric stress and this may make them sensitive to deposits.

3.2 *Reduced number of units for testing purposes*

Suitable facilities might not be available in high-power test plants for the testing of a complete circuit-breaker or a full pole, even in laboratories which make use of synthetic test circuits.

Hence the necessity exists to perform tests on parts of a complete circuit-breaker.

Depending on the alternatives, the interactions between the tested object and the omitted parts should be analysed:

- between circuit-breaker units and surrounding parts of the substation;
- between poles or between poles and the enclosure;
- between different units or between units and the enclosure.

In this analysis, it is necessary to differentiate between:

- single pole in one enclosure;
- three poles in one enclosure.

It is also necessary to distinguish between two different stresses, which usually can be treated separately:

- stress of the interrupting gap;
- stress of insulation between phases, or between phases and the enclosure.

3.3 *General description of special features and possible interactions*

Interactions, which might influence the test results and cannot be taken into account by unit testing or single-pole testing, will require full-pole or three-pole testing, respectively.

3.3.1 *Influence des éléments environnants du poste*

Des éléments intégrés, par exemple des tronçons de jeux de barres, des câbles d'alimentation, des traversées, des transformateurs de tension ou des parafoudres sont susceptibles d'influencer les contraintes prévues du circuit d'essai.

L'influence de ces éléments intégrés au système dépend de la séquence d'essais. Ainsi, dans le cas du défaut proche en ligne et du défaut aux bornes avec TTRI, la capacité élevée des éléments environnants réduit la contrainte exercée sur le disjoncteur alors que, d'un autre côté, la fermeture et l'ouverture d'une batterie de condensateurs peut s'avérer plus sévère lorsque des connexions de faible impédance sont utilisées.

3.3.2 *Interaction entre les pôles, les éléments de coupure et les enveloppes*

Divers types d'interactions, de nature physique différente, sont susceptibles de se produire entre les éléments du disjoncteur considéré. Les plus importantes sont:

- mécaniques;
- électrostatiques;
- électromagnétiques;
- dues à la dynamique des gaz.

Dans la plupart des cas, l'intensité de ces interactions dépendra de la conception spécifique de l'objet soumis à l'essai. Si une interaction particulière est éliminée pour un modèle donné, il n'est plus nécessaire d'ajuster les essais pour couvrir cette interaction. Dans ce cas, il est nécessaire de démontrer à l'aide d'un calcul type ou d'une démonstration expérimentale faisant appel à des méthodes de mesure spéciales que l'interaction considérée a une influence négligeable sur les résultats de l'essai. Il est possible d'effectuer la même démonstration pour juger du niveau d'interaction qui doit être représenté lors des essais. En outre, le cas d'un appareil de connexion dont la configuration n'est pas symétrique par rapport aux bornes doit être pris en considération.

3.3.2.1 *Interaction mécanique*

Les prescriptions de 6.102.2 et 6.102.3 de la CEI 56 s'appliquent.

3.3.2.2 *Interaction électrostatique*

Les prescriptions de 6.102.3.2.2 de la CEI 56 s'appliquent.

La répartition de la tension entre les éléments des disjoncteurs à plusieurs organes de coupure ainsi que le champ électrique dans l'intervalle de contact sont influencés par les capacités élevées et, en particulier, par la présence de l'enveloppe mise à la terre et des autres parties sous tension. Lors de séquences d'essais différentes et dans d'autres conditions de mise à la terre, cela peut se révéler différent.

La répartition de la tension entre les éléments peut être déterminée en fonction de la capacité entre les éléments et par rapport à l'enveloppe. Les gradients maximaux sur les surfaces de contact dépendent également du nombre d'organes de coupure et, pour le même disjoncteur, de la position de l'organe d'interruption dans le disjoncteur, même lorsque l'on suppose que la répartition de la tension est idéale.

3.3.1 *Influence of the surrounding parts of a substation*

Integrated parts, for example bus-bar sections, feeding cables, bushings, voltage transformers, and surge arresters, may influence the prospective stresses of the test circuit.

The influence of these integrated parts of the system depends on the test sequence. On the one hand, the large capacitance of surrounding elements reduces the stress on the circuit-breaker in the case of SLF and terminal fault ITRV, while, on the other hand, switching of capacitor banks may be more severe when low impedance connections are used.

3.3.2 *Interaction between poles, interrupting units and enclosures*

Various types of interactions of a different physical nature can arise between the elements of the circuit-breaker considered. The most important are:

- mechanical;
- electrostatic;
- electro-magnetic;
- gas dynamical.

The intensity of these interactions will, in most cases, depend on the individual design of the object under test. If a special interaction is eliminated in a given design, it is no longer necessary to adjust the tests to cover this interaction. In that case, it is necessary to demonstrate that the interaction under consideration has negligible influence on the test results, which could be made by model calculation, or experimental demonstration, using special measuring techniques. The same demonstration could be applied for the judgement of the degree of interaction which has to be represented in tests. In addition, consideration must be given to the case of a switching device where the configuration is not symmetrical in respect to the terminals.

3.3.2.1 *Mechanical interaction*

Subclauses 6.102.2 and 6.102.3 of IEC 56 apply.

3.3.2.2 *Electrostatic interaction*

Subclause 6.102.3.2.2 of IEC 56 applies.

The voltage distribution between units of multi-break circuit-breakers, as well as the electric field in the contact gap, is influenced by the high capacitances and especially by the presence of the earthed enclosure and of other live parts. It may be different in various test sequences and for different earthing conditions.

The voltage distribution between units can be determined as a function of the capacitance across the units and to the enclosure. The maximum gradients on the contact surfaces depend also on the number of interrupters and, for the same circuit-breaker, on the position of the interrupting unit in the circuit-breaker, even when an ideal voltage distribution is assumed.

Le champ électrique dans l'intervalle de contact est influencé par les facteurs suivants:

- faibles distances entre les éléments sous tension et l'enveloppe;
- présence d'éléments adjacents sous tension.

Dans ce cas, la détermination d'une contrainte représentative dépend de la conception spécifique du disjoncteur et de l'emplacement de la zone de contrainte la plus critique.

3.3.2.3 *Interaction électromagnétique*

Les disjoncteurs unipolaires et les disjoncteurs tripolaires peuvent subir des interactions électromagnétiques susceptibles de générer des forces supplémentaires sur les arcs et sur les pièces en mouvement. Lorsque trois pôles sont situés dans une seule enveloppe, l'interaction entre phases est accentuée.

Les courants induits et les courants de retour dans l'enveloppe sont susceptibles de provoquer d'autres effets, par exemple, une chute de tension entre les éléments mis à la terre qui détériore les matériels auxiliaires ou de protection.

3.3.2.4 *Interaction due à la dynamique des gaz*

Les gaz d'échappement chauds, ionisés et/ou pollués sont susceptibles d'influencer la résistance disruptive entre les pôles situés dans une enveloppe commune et entre le(s) pôle(s) et l'enveloppe. Des effets analogues peuvent apparaître entre les éléments d'un pôle qui comporte plus d'un élément de coupure.

4 **Essais d'un pôle unique dans une seule enveloppe**

4.1 *Essais de défaut aux bornes*

Les circuits d'essais doivent être conformes aux figures 19a, 20a, 21a et 22a de la CEI 56. Les circuits d'essais 19b, 20b, 21b et 22b de la CEI 56 ne soumettent pas les disjoncteurs sous enveloppe métallique et à cuve mise à la terre à des contraintes correctes dans des conditions de défaut à la terre.

La condition prescrite en 6.102 de la CEI 56 doit être satisfaite. Les circuits d'essais synthétiques doivent être conformes aux prescriptions de 4.2.1, 4.2.2 et de l'article 5 de la CEI 427.

Deux situations doivent être prises en compte pour les essais monophasés:

- a) essais d'un seul pôle de disjoncteurs tripolaires (se reporter à 4.1.1);
- b) essais par éléments séparés (se reporter à 4.1.2).

4.1.1 *Essais unipolaires des disjoncteurs tripolaires*

Lorsque les circuits d'essais 21a et 22a de la CEI 56 sont utilisés, la pleine tension doit être appliquée à l'une des bornes du disjoncteur, l'autre borne et l'enveloppe étant mises à la terre. Il est préférable de choisir une tension de rétablissement alternative. Les circuits conventionnels directs ou synthétiques doivent être utilisés.

The electrical field in the contact gap is influenced by the following factors:

- short distances between live parts and the enclosure;
- presence of adjacent live parts.

Here the determination of a representative stress depends on the individual design of the circuit-breaker and on the location of the most critical stress area.

3.3.2.3 *Electromagnetic interaction*

Both single- and three-pole circuit-breakers can experience electromagnetic interaction, which may cause additional forces on the arcs and on moving parts. In the case of three poles in one enclosure, the interaction between phases is pronounced.

Induced currents and return currents in the enclosure may cause additional effects, for instance a voltage drop between earthed parts affecting auxiliary or protective equipment.

3.3.2.4 *Gas dynamical interaction*

Hot, ionized and/or contaminated exhaust gases may influence the dielectric strength between poles in a common enclosure, and between the pole(s) and the enclosure. Similar effects may occur between the units of a pole with more than one interrupting unit.

4 Tests for single pole in one enclosure

4.1 *Short-circuit making and breaking tests*

The test circuits shall comply with figures 19a, 20a, 21a and 22a of IEC 56. Test circuits 19b, 20b, 21b and 22b of IEC 56 do not stress metal-enclosed and dead tank circuit-breakers in earthed fault conditions correctly.

The conditions of 6.102 of IEC 56 shall be fulfilled. The synthetic test circuits shall comply with 4.2.1, 4.2.2 and clause 5 of IEC 427.

For single-phase testing purposes two situations have to be considered:

- a) single-pole testing of three-pole circuit-breakers (see 4.1.1);
- b) unit testing (see 4.1.2).

4.1.1 *Single-pole testing of a three-pole circuit-breaker*

When test circuits 21a and 22a of IEC 56 are used, the full voltage has to be applied to one terminal of the circuit-breaker, the other terminal and the enclosure being earthed. The recovery voltage should preferably be a.c. The conventional direct or synthetic circuits shall be used.

4.1.2 Essais par éléments séparés

Il est nécessaire de prendre des précautions particulières en ce qui concerne les interactions (se reporter à 2.3 et à 6.102.3.2.1 C de la CEI 56).

Les contraintes de tension requises durant les essais par éléments séparés sont:

- les tensions transitoires de rétablissement du pôle complet et les tensions de rétablissement entre les éléments sous tension correspondants et les enveloppes. Il est préférable d'utiliser une tension de rétablissement alternative;
- la portion de ces tensions, dépendant du nombre d'unités soumises aux essais et de la répartition de la tension, traversant l'unité (les unités) soumise(s) aux essais.

Toutes les unités doivent interrompre le courant de court-circuit, ce qui assure une interaction correcte entre les unités et une influence correcte sur les isolations situées entre les éléments sous tension et l'enveloppe.

Cette méthode d'essai ne peut être utilisée que si le disjoncteur est alimenté par une troisième traversée. Cette traversée, connectée entre la ou les unités soumises aux essais et le circuit de tension, permet l'utilisation de la ou des autres unités comme disjoncteur auxiliaire. Cette traversée ne doit pas générer d'interaction mécanique, électrostatique ou magnétique avec l'unité ou les unités soumises aux essais.

La figure 1 représente le circuit synthétique pour injection de courant et de tension.

Il consiste en:

- un circuit d'essai synthétique conventionnel qui fournit la portion requise de la TTR totale entre les bornes de la ou des unités soumises à l'essai (u_B de la figure 2);
- un circuit d'essai supplémentaire (synthétique, source de courant continu ou alternatif) qui alimente l'enveloppe, isolée de la terre, à une tension appropriée (u_E dans la figure 2).

La figure 2 illustre un exemple d'essai effectué sur un demi-pôle et montre les tensions requises u_B et u_E , ainsi que la tension u_A qui en résulte entre la borne des unités auxiliaires, connectées au circuit de courant et l'enveloppe. Les contraintes de tension du pôle complet sont appliquées entre la borne mise à la terre des unités soumises à l'essai et l'enveloppe.

Lorsqu'il est impossible d'appliquer simultanément les contraintes de tension u_B et u_E , il est possible d'utiliser une méthode d'essai en plusieurs parties (se reporter à 6.102.1.3 de la CEI 56). Dans la première partie, seules les performances des unités soumises à l'essai sont vérifiées (l'enveloppe du disjoncteur est mise à la terre). Dans la seconde partie, l'isolation entre les éléments sous tension du pôle et l'enveloppe est vérifiée. Ceci peut être fait en faisant interrompre le courant de court-circuit par tous les éléments du pôle, mais sous tension réduite (en fonction de la source de courant disponible) et en appliquant une tension entre l'enveloppe isolée et la terre. Au moment où se produit le pic de la TTR, la valeur instantanée de la tension appliquée à l'enveloppe doit être égale à la différence entre la «tension réduite» et le pic de la TTR devant être appliquée entre la borne subissant la contrainte et l'enveloppe.

4.1.2 Unit testing

Particular precautionary measures regarding interaction must be taken (see 2.3 and 6.102.3.2.1 C of IEC 56).

The required voltage stresses during the unit testing are:

- the full-pole transient recovery voltage and recovery voltage between the relevant live parts and the enclosures. The recovery voltage should preferably be a.c.;
- the portion of these voltages, depending on the number of tested units and on the voltage distribution, across the unit(s) submitted to tests.

All units must break the short-circuit current, which guarantees the correct interaction between units and the correct influence on the insulation between live parts and the enclosure.

This test procedure can only be used if the circuit-breaker is supplied with a third bushing. This bushing, connected between the unit(s) under test and the voltage circuit, allows the use of the other unit(s) as auxiliary circuit-breakers. This bushing should not produce any mechanical, electrostatic, or magnetic interaction with the unit(s) under test.

The synthetic circuit is shown in figure 1, both for current and for voltage injection.

It consists of:

- a conventional synthetic test circuit that gives the required portion of the total TRV between the terminals of the unit(s) under test (u_B of figure 2);
- an additional test circuit (synthetic, d.c., or a.c. source) that energizes the enclosure, insulated from earth, with a suitable voltage (u_E of figure 2).

In figure 2, an example relevant to a half-pole testing, shows the required voltage u_B , u_E and the resulting voltage u_A between the terminal of the auxiliary unit(s) connected to the current circuit and the enclosure. The full-pole voltage stresses are applied between the earthed terminal of the unit(s) under test and the enclosure.

If it is not possible to apply the voltage stresses u_B and u_E at the same time, a multipart testing procedure can be used (see 6.102.1.3 of IEC 56). In the first part, only the performance of the unit(s) under test is checked (the enclosure of the circuit-breaker is earthed). In the second part, the insulation between the live parts of the pole and the enclosure is checked. This can be done, for instance, with all units breaking the short-circuit current, but at a reduced voltage (dependent on the available current source) and applying voltage between the insulated enclosure and the earth. At the moment when the TRV peak is produced, the instantaneous value of the applied voltage to the enclosure shall be equal to the differences between the "reduced voltage" and the total TRV peak to be applied between the stressed terminal and the enclosure.

Il existe des circuits d'essais ne faisant pas appel à une troisième traversée. La tension requise aux bornes de l'unité soumise à l'essai est produite en shuntant les autres unités à l'aide de gros condensateurs. De tels circuits ne sont pas valables pour l'intervalle d'interaction et ne peuvent être utilisés qu'après accord entre le constructeur et l'utilisateur. Ces circuits peuvent être utilisés pour les séquences d'essais de court-circuit de base, si le comportement thermique du disjoncteur durant l'intervalle d'interaction est vérifié séparément (par exemple soit par un essai en deux parties, soit en réalisant les essais de défaut proche en ligne).

Une attention particulière sera portée aux temps d'arc des séquences d'essais de court-circuit de base pour qu'ils ne soient pas très différents de ceux obtenus lors de l'essai thermique de vérification.

NOTES

1 Dans le passé, des essais par éléments séparés ont été effectués avec un circuit d'essai dans lequel toutes les unités ne coupaient pas le courant de court-circuit. Un tel circuit d'essai ne peut être utilisé que dans les cas où l'interaction due à la circulation de gaz est négligeable. Ce n'est généralement pas le cas et c'est très difficile à prouver.

Dans ce circuit, une partie du disjoncteur a été court-circuitée. On suppose que cela n'entraîne aucune interaction mécanique, électrostatique ou électromagnétique et une attention particulière devra être apportée à l'interaction due à la circulation de gaz.

La figure 3 illustre un circuit d'essai synthétique à injection de courant ou de tension. Le principe de fonctionnement de ce circuit est le même que celui du circuit de la figure 1.

La valeur et la polarité de la tension U_E , à appliquer à l'enveloppe sont telles que la tension qui en résulte entre la borne alimentée du disjoncteur et l'enveloppe est égale à la valeur requise pour la tension d'essai du pôle complet.

La figure 4 illustre un exemple d'essai effectué sur un demi-pôle et indique les tensions requises.

2 Pour la plupart des disjoncteurs, l'isolation entre les éléments sous tension et l'enveloppe durant l'établissement et la coupure des courants de court-circuit peut être vérifiée à l'aide des séquences d'essais de court-circuit n° 4 et n° 5. Les séquences d'essais de court-circuit n° 1, 2 et 3 peuvent être effectuées en appliquant les méthodes d'essais par éléments séparés conventionnelles.

3 La technique de transmission par fibres optiques peut être utilisée avec succès pour découpler le circuit de commande du disjoncteur de l'enveloppe sous tension; le courant nécessaire à la fermeture et au fonctionnement de la bobine d'excitation peut être fourni par une génératrice à turbine entraînée par de l'air comprimé.

4.2 Essais de défaut proche en ligne

Lorsqu'on utilise une méthode d'essai synthétique, les prescriptions de 6.109 de la CEI 56 ainsi que celles de 4.2.1, 4.2.2 et 6.109 de la CEI 427 s'appliquent.

Si les séquences d'essais de court-circuit de base ont été effectuées, il n'est pas nécessaire de porter une attention particulière à l'isolation entre les éléments sous tension et l'enveloppe lors des essais de défaut proche en ligne.

4.3 Etablissement et coupure de courants capacitifs

La méthode d'essai doit être conforme aux prescriptions de 6.111 de la CEI 56.

Pour des essais monophasés réalisés en laboratoire conformément aux prescriptions de 6.111.7 de la CEI 56, seule la contrainte diélectrique entre les bornes du disjoncteur est correctement reproduite. Lorsque la contrainte diélectrique entre les bornes et l'enveloppe ne peut pas être correctement reproduite, des essais supplémentaires doivent être effectués.

Test circuits without the use of a third bushing exist. The required voltage across the unit under test is produced by shunting the other units with large capacitors. The application of such circuits is not valid for the interaction interval, and may only be used subject to agreement between manufacturer and user. These circuits can be used for basic short-circuit test sequences, if the thermal behaviour of the circuit-breaker during interaction interval is verified separately (for example either by two-part testing, or by performing short-line fault tests).

Pay attention that during the basic short-circuit test sequences, the arcing times are not considerably at variance with those obtained during the thermal verification test.

NOTES

1 In the past, some unit testing has been carried out in a test circuit in which not all units break the short-circuit current. Such a test circuit may only be used for cases with negligible interaction, due to gas circulation. This is, however, mostly not the case and is also very difficult to prove.

In this circuit, a portion of the circuit-breaker has been short-circuited. It is assumed that this does not produce any mechanical, electrostatic, or electromagnetic interaction, and special attention should be paid to the interaction due to gas circulation.

A synthetic test circuit is shown in figure 3, both for current and voltage injection. The working principle of this circuit is the same as that of the circuit in figure 1.

The value and polarity of the voltage u_E , to be applied to the enclosure are such that the resulting voltage between the energized terminal of the circuit-breaker and the enclosure is equal to the required value of the full-pole test voltage.

In figure 4 an example relevant to a half-pole testing shows the required voltages.

2 Insulation between live parts and enclosures during making and breaking short-circuit currents for most circuit-breakers can be proved by short-circuit test sequences nos. 4 and 5. Short-circuit test sequences nos. 1, 2 and 3 may be performed by conventional unit test procedures.

3 To uncouple the control circuit of the circuit-breaker from the energized enclosure, the fibre-optics transmission technique can be applied successfully; the power required to operate the closing and trip coils can be provided by a turbine generator group driven by compressed air.

4.2 Short-line fault tests

Subclause 6.109 of IEC 56 and 4.2.1, 4.2.2, and 6.109 of IEC 427, when the synthetic testing method is used, apply.

Provided that the basic short-circuit test duties have been carried out, no further attention need be paid to the insulation between the live parts and the enclosure during short-line fault tests.

4.3 Switching of capacitive currents

The testing procedure shall be in agreement with 6.111 of IEC 56.

For single-phase laboratory tests, according to 6.111.7 of IEC 56, only the dielectric stress between terminals of the circuit-breaker is correctly reproduced. When the dielectric stress between the terminals and the enclosure cannot be reproduced correctly, additional tests shall be carried out.

De ce fait, les essais en laboratoire d'établissement et coupure de courant capacitif sont à effectuer conformément à la procédure suivante.

- a) Exécution des séquences d'essais d'établissement et de coupure conformément aux prescriptions de 6.111 de la CEI 56.
- b) Exécution d'un essai diélectrique supplémentaire dans le but d'appliquer des contraintes diélectriques continues et/ou alternatives à fréquence industrielle appropriées entre les bornes et l'enveloppe.

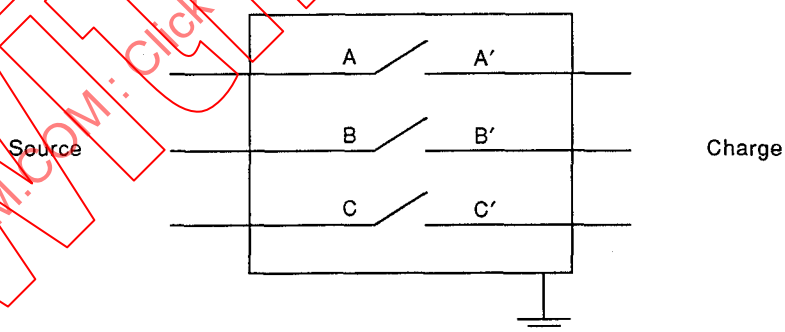
La nécessité d'appliquer une tension à fréquence industrielle, une tension continue ou les deux à la fois et la valeur de ces tensions, doivent être déterminées en tenant compte des conditions du système et des valeurs réelles de la tension de source et de la tension de charge, vérifiées lors des essais d'établissement et de coupure de l'alinéa a) ci-dessus.

Les valeurs types de la tension de source, de la tension de charge et de la tension de rétablissement durant l'établissement et la coupure de courants capacitifs sont indiquées dans les tableaux 1 A et B.

Si la tenue à une tension à fréquence industrielle doit être vérifiée, cette tension doit être appliquée au niveau de la borne située du côté source du disjoncteur et doit être maintenue pendant 1 min.

Si la tenue à une tension continue doit être vérifiée, cette tension doit être appliquée au niveau de la borne située du côté charge du disjoncteur et doit être maintenue pendant 0,3 s.

Lorsque les contraintes de tension à fréquence industrielle et continue doivent être vérifiées, il est possible d'appliquer les tensions aux bornes en plusieurs étapes.



CEI 135/95

Thus, laboratory tests for the verification of the capacitive current switching shall be performed in accordance with the following procedure.

- a) Performance of the switching test sequences in accordance with 6.111 of IEC 56.
- b) Performance of an additional dielectric test with the aim of applying proper d.c. and/or power frequency dielectric stresses between the terminals and the enclosure.

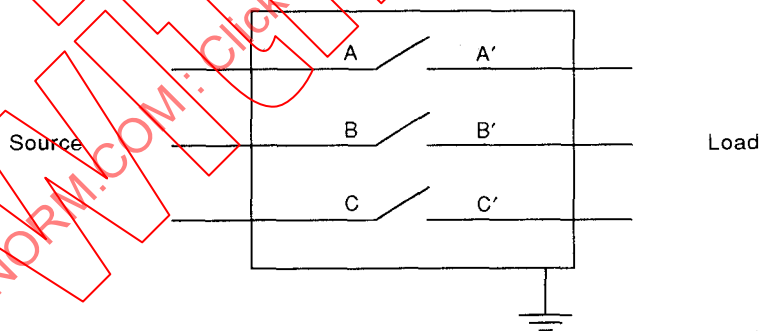
The need to apply power frequency voltage, or d.c. voltage, or both and their values shall be determined, taking into account the conditions of the system and the actual values of the source-side and load-side voltages verified during the switching tests given in a) above.

Typical values of the source-side, load-side, and recovery voltages during capacitive current switching are given in tables 1A and B.

If the withstand to the power frequency voltage has to be checked, this voltage shall be applied on the source-side terminal of the circuit-breaker, and shall be maintained for 1 min.

If the withstand to the d.c. voltage has to be checked, this voltage shall be applied on the load-side terminal of the circuit-breaker and maintained for 0.3 s.

When power frequency and d.c. voltage stresses have to be verified, the voltages can be applied on the terminals in separate steps.



IEC 135195

Tableau 1A – Etablissement-coupure d'un courant capacitif triphasé dans des conditions réelles de fonctionnement:
valeurs habituelles de la tension côté source, de la tension côté charge et de la tension de rétablissement

Conditions	Bornes du disjoncteur	Valeurs des tensions pour un système à la terre			Valeurs des tensions pour un système isolé
		Condensateur non relié à la terre	Batteries de condensateurs reliées à la terre et câbles blindés	Lignes	Dans tous les cas
Les pôles A et B coupent au premier zéro de courant après la coupure du pôle C	C/terre	$U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$1,5 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$
	C'/terre	$1,5 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$1,2 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U \sqrt{2}/\sqrt{3}$
	C/C'	$2,5 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2,2 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2,5 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$
Les pôles A et B ne coupent pas au premier zéro de courant après la coupure du pôle C	C/terre	$U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$
	C'/terre	$2 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$1,4 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U \sqrt{2}/\sqrt{3}$
	C/C'	$3 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2,4 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$
C/C' = premier pôle à couper C = côté source C' = côté charge U = tension assignée NOTE – Les valeurs indiquées pour un système isolé s'appliquent si la capacité de l'impédance homopolaire du circuit d'alimentation est négligeable par rapport à celle du circuit de charge.					

Tableau 1B – Essais monophasés en laboratoire correspondant à l'établissement et à la coupure d'un courant capacitif, conformément aux prescriptions de 6.111.7 de la CEI 56. Valeurs de la tension côté source, de la tension côté charge et de la tension de rétablissement

Conditions	Bornes du disjoncteur	Valeurs des tensions pour un système à la terre			Valeurs des tensions pour un système isolé
		Batteries de condensateurs non reliés à la terre	Batteries de condensateurs reliées à la terre et câbles blindés	Lignes	Dans tous les cas
Les différentes séquences de coupure des trois pôles ne sont pas prises en compte	C/terre	$1,4 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$1,2 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$1,4 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$
	C'/terre	$1,4 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$1,2 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$1,4 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$
	C/C'	$2,8 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2,4 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2,8 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$
C/C' = premier pôle à couper C = côté source C' = côté charge U = tension assignée					

En plus des conditions énumérées au tableau 1, les paragraphes suivants fournissent des informations relatives aux alinéas d et e de 6.111.7 de la CEI 56.

Table 1A – Three-phase capacitive current switching in actual service conditions: typical values of the source-side, load-side, and recovery voltages

Conditions	Circuit-breaker terminals	Values of the voltages for earthed system			Values of the voltages for unearthed system
		Unearthed capacitor	Earthed capacitor banks and screened cables	Lines	In all cases
Poles A and B clear at the first current zeros after the clearance of pole C	C/earth	$U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$1,5 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$
	C'/earth	$1,5 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$1,2 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U\sqrt{2}/\sqrt{3}$
	C/C'	$2,5 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2,2 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2,5 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$
Poles A and B do not clear at the first current zeros after the clearance of pole C	C/earth	$U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$
	C'/earth	$2 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$1,4 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U\sqrt{2}/\sqrt{3}$
	C/C'	$3 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2,4 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$
C/C' = first pole to clear C = source side C' = load side U = rated voltage NOTE – The indicated values for unearthed system apply if the source-side zero sequence capacitance is negligible compared to that of the load side.					

Table 1B – Correspondent capacitive current-switching tests in accordance with 6.111.7 of IEC 56 for single-phase laboratory tests. Values of the source-side, load-side, and recovery voltages

Conditions	Circuit-breaker terminals	Values of the voltages for earthed system			Values of the voltages for unearthed system
		Unearthed capacitor banks	Earthed capacitor banks and screened cables	Lines	In all cases
Possible different clearing sequences of the three poles are not considered	C/earth	$1,4 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$1,2 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$1,4 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$
	C'/earth	$1,4 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$1,2 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$1,4 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$
	C/C'	$2,8 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2,4 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2,8 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$
C/C' = first pole to clear C = source side C' = load side U = rated voltage					

In addition to the conditions of table 1, the following paragraphs give information concerning 6.111.7, d, and e of IEC 56.

Avec une alimentation à neutre à la terre, et en présence de défauts monophasés ou biphasés à la terre, les tensions des phases saines peuvent atteindre jusqu'à $1,4 U\sqrt{3}$. La valeur exacte dépend des impédances homopolaires. Dans ce cas, les valeurs des tensions du côté source et du côté charge des bornes reliées à la terre sont:

$$C/\text{terre} = C'/\text{terre} = 1,4 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$$

$$C/C' = 2,8 U\sqrt{2}/\sqrt{3} \text{ (tension de rétablissement)}$$

Avec une alimentation à neutre isolé, et en présence de défauts monophasés ou biphasés à la terre, les tensions des phases saines peuvent atteindre approximativement $1,7 U\sqrt{3}$.

Dans ce cas, les valeurs des tensions du côté source et du côté charge des bornes reliées à la terre sont:

$$C/\text{terre} = C'/\text{terre} = 1,7 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$$

$$C/C' = 3,4 U\sqrt{2}/\sqrt{3} \text{ (tension de rétablissement)}$$

4.3.1 Essais unipolaires des disjoncteurs tripolaires

Il est nécessaire d'utiliser des circuits directs ou des circuits synthétiques.

Dans certains circuits d'essais synthétiques, les deux tensions sont combinées à l'une des bornes du disjoncteur, l'autre borne étant reliée à la terre.

Cette condition est plus sévère en ce qui concerne l'isolation à la terre et peut avoir une influence sur la sévérité de l'essai aux bornes du disjoncteur.

Une contrainte de tension de polarisation peut être appliquée à l'enveloppe pour compenser cet effet.

Les figures 5 et 6 illustrent des solutions possibles pouvant être appliquées au circuit d'injection de courant et au circuit utilisant deux sources à fréquence industrielle.

4.3.2 Essais par éléments séparés

Il est nécessaire de tenir compte de la distorsion locale de champ dans l'espace inter-contact due aux éléments de voisinage tels que les enveloppes. Dans certains cas, en fonction du nombre d'unités du pôle, les circuits d'essais ne reproduisent pas les tensions de rétablissement continues et alternatives demandées entre les éléments sous tension de l'unité ou des unités soumises à l'essai et l'enveloppe.

Les essais par éléments séparés ne sont acceptables que si l'intensité du champ à la terre à l'une des bornes est égale à l'intensité du champ à la terre lors des essais du pôle complet. Cette condition peut être satisfaite en:

- soumettant l'enveloppe du disjoncteur, isolée de la terre, à une tension appropriée. La figure 7 illustre un exemple d'essai, par éléments séparés, effectué sur le demi-pôle d'un disjoncteur pour une injection de courant synthétique;
- effectuant des essais sur un demi-pôle, les deux tensions (continue et alternative) étant superposées à l'une des bornes et l'autre borne étant reliée à la terre.

With the neutral of the supply earthed and in presence of single- or two-phase earth faults, the voltages in the healthy phases can reach up to $1,4 U\sqrt{3}$. The precise value depends on the zero sequence impedances. In that case, the values of the voltages on source-side and load-side terminals to earth which should be considered are:

$$C/\text{earth} = C'/\text{earth} = 1,4 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$$

$$C/C' = 2,8 U\sqrt{2}/\sqrt{3} \text{ (recovery voltage)}$$

With the neutral of the supply not earthed and in presence of single- or two-phase earth faults, the voltages in the healthy phases can reach up to approximately $1,7 U\sqrt{3}$.

In that case, the values of the voltages on source-side and load-side terminals to earth which should be considered are:

$$C/\text{earth} = C'/\text{earth} = 1,7 U\sqrt{2}/\sqrt{3}$$

$$C/C' = 3,4 U\sqrt{2}/\sqrt{3} \text{ (recovery voltage)}$$

4.3.1 Single-pole testing of three-pole circuit-breakers

Direct circuits or synthetic circuits shall be used.

In some synthetic test circuits, both voltages are combined at one terminal of the circuit-breaker, the other terminal being earthed.

This condition is more severe for the insulation to earth and may effect the severity of the test across the circuit-breaker.

To compensate for this effect, a bias voltage stress to the enclosure may be applied.

Possible solutions relevant to the current injection circuit and to the circuit using two power frequency sources are illustrated in figures 5 and 6.

4.3.2 Unit testing

It is necessary to take into account local field distortion within the gap between neighbouring elements, such as enclosures. In some cases, depending on the number of the units of the pole, the test circuits do not reproduce the requested d.c. and a.c. recovery voltages between the live parts of the unit(s) under test and the enclosure.

Unit testing is only acceptable if the field strength to earth at one terminal is equal to the field strength to earth at full-pole testing. This condition can be met by:

- energizing the enclosure of the circuit-breaker, insulated from earth, with a proper voltage. An example relevant to unit testing on half-a-pole of a circuit-breaker is given in figure 7 for a synthetic current injection;
- performing half-pole testing with both voltages (a.c. and d.c.) superimposed at one terminal and the other terminal earthed.

4.4 *Etablissement et coupure en discordance de phases*

Les prescriptions de 6.110 de la CEI 56 s'appliquent.

Les considérations suivantes sont applicables:

- durant ces essais, les interactions mécaniques, magnétiques et les interactions dues à la dynamique des gaz sont faibles et de moindre importance que celles apparaissant dans des conditions d'essais de défaut en court-circuit et de défaut proche en ligne.
- la contrainte de tension entre les phases et l'enveloppe aussi bien qu'entre phases pourrait être égale ou inférieure à celle qui est appliquée dans les conditions d'essai de court-circuit.

NOTE – Il est recommandé de relier l'enveloppe à la terre et d'appliquer des contraintes de tension aux deux côtés du disjoncteur afin de simuler les conditions du réseau.

La mise à la terre de l'enveloppe et de l'une des bornes génère une contrainte plus importante entre les phases et l'enveloppe; cette configuration d'essai doit, par conséquent, faire l'objet d'un accord avec le fabricant.

Pour les besoins des essais, deux situations doivent être prises en considération:

- a) essais unipolaires des disjoncteurs tripolaires (voir en 4.4.1);
- b) essais par éléments séparés (voir en 4.4.2).

4.4.1 *Essais unipolaires des disjoncteurs tripolaires*

Il est possible d'utiliser une méthode d'essai directe ou synthétique, réalisée dans un circuit symétrique tel qu'indiqué en figure 29 de la CEI 56, en appliquant les tensions aux deux côtés, l'enveloppe étant reliée à la terre. Il est préférable d'utiliser une tension de rétablissement alternative.

Le circuit synthétique symétrique est composé de deux circuits de tension ayant des TTR de polarité opposée et oscillant à fréquences égales ou différentes (voir en figure 8).

L'injection des deux circuits doit intervenir au cours d'une séquence appropriée afin d'obtenir les contraintes de tension requises à la fois entre les bornes et entre l'une des bornes, au moins, et l'enveloppe.

Les circuits de tension peuvent être conformes à la méthode d'injection de courant, à la méthode d'injection de tension ou à une combinaison de ces deux méthodes.

Par ailleurs, il est possible d'utiliser un circuit conventionnel direct ou synthétique, l'une des bornes du disjoncteur étant reliée à la terre et l'enveloppe étant sous tension et isolée de la terre.

4.4.2 *Essais par éléments séparés*

Afin de reproduire la contrainte de tension exacte entre les bornes et l'enveloppe, l'enveloppe doit être isolée et mise sous tension en utilisant une source de tension telle que celle décrite en 4.1.2.

4.4 Out-of-phase switching

Subclause 6.110 of IEC 56 applies.

The following considerations apply:

- during these tests the mechanical, magnetic and gas dynamical interactions are low and smaller than during short-circuit and short-line fault test conditions;
- the voltage stress between the phases and the enclosure, as well as between phases, might be equal to, or smaller than, those in short-circuit test conditions.

NOTE - To simulate the network conditions, it is recommended to earth the enclosure and to apply the voltage stresses to both sides of the circuit-breaker.

Earthing of the enclosure and one terminal yields a more severe stress between the phases and enclosure; consequently, this test configuration is subject to the agreement of the manufacturer.

For testing purposes two situations have to be considered.

- a) single-pole testing of three-pole circuit-breakers (see 4.4.1);
- b) unit testing (see 4.4.2).

4.4.1 Single-pole testing of three-pole circuit-breakers

A direct or synthetic test method in a symmetrical circuit as indicated in figure 29 of IEC 56, with voltages applied on both sides and the enclosure earthed, can be used. The recovery voltage preferably should be a.c.

The symmetrical synthetic circuit is formed by two voltage circuits having TRV of opposite polarity and oscillating at equal or different frequencies (see figure 8).

The injection of the two circuits shall occur in a suitable sequence in order to obtain the required voltage stresses both between the terminals and between, at least, one of the terminals and the enclosure.

The voltage circuits can be according to the current injection or voltage injection method, or a combination of the two.

Alternatively, a conventional direct or synthetic circuit can be used with one of the terminals of the circuit-breaker earthed and the enclosure energized and insulated from earth.

4.4.2 Unit testing

To reproduce the correct voltage stress between the terminals and the enclosure, the enclosure has to be insulated and energized using a voltage source as described in 4.1.2.

Les essais par éléments séparés avec mise à la terre de l'enveloppe et de l'une des bornes du disjoncteur sont tolérés sous réserve que la contrainte de tension requise entre les bornes et l'enveloppe ait déjà été vérifiée au cours des essais de court-circuit.

5 Essais de trois pôles dans une seule enveloppe

5.1 Essais de défaut aux bornes

5.1.1 Procédure d'essais

Lorsqu'un circuit direct est disponible pour effectuer les essais sur le disjoncteur triphasé, les essais directs couvriront toutes les contraintes.

Lorsqu'une méthode synthétique est utilisée, les exigences générales suivantes doivent être satisfaites pour s'assurer que les contraintes appropriées sont appliquées aux organes de coupure et entre les bornes et l'enveloppe.

- a) Pour toutes les séquences d'essais, le plein courant triphasé doit être fourni au disjoncteur tripolaire soumis à l'essai.

NOTE – Les séquences d'essais de court-circuit n°s 1, 2 et 3 peuvent être réalisées avec un circuit d'essais monophasé.

- b) Les informations relatives aux circuits d'essais des séquences d'essais 4 et 5 sont données au tableau 2.

Tableau 2 – Informations relatives aux circuits d'essais utilisés pour les séquences d'essais 4 et 5

F.P.P.C	Séquence d'essais 4		Séquence d'essais 5	
	Premier pôle à couper	Autres pôles	Premier pôle à couper	Autres pôles
1,5	Pour toutes les manoeuvres, application des circuits synthétiques de 4.2.1 ou 4.2.2 de la CEI 427	Pour toutes les manoeuvres, application des circuits synthétiques de 4.2.1 ou 4.2.2 de la CEI 427	Application des prescriptions du paragraphe 4.2.1 ou 4.2.2 de la CEI 427, pour au moins deux manoeuvres. Les prescriptions de 4.2.3 peuvent être appliquées pour la troisième manoeuvre	Application des prescriptions de 4.2.1 ou 4.2.2 de la CEI 427, au moins pour la manoeuvre avec la grande boucle et le plus long temps d'arc
1,3	Application des prescriptions de 4.2.1 ou 4.2.2 de la CEI 427, pour au moins deux manoeuvres. Les prescriptions de 4.2.3 peuvent être appliquées pour la troisième manoeuvre	Application des prescriptions de 4.2.1 ou 4.2.2 de la CEI 427, au moins pour la manoeuvre du deuxième pôle à couper lors de l'opération au temps d'arc le plus long	Application des prescriptions de 4.2.1 ou 4.2.2 de la CEI 427, pour au moins deux manoeuvres. Les prescriptions de 4.2.3 peuvent être appliquées pour la troisième manoeuvre	Application des prescriptions de 4.2.1 ou 4.2.2 de la CEI 427, au moins pour la manoeuvre du deuxième pôle à couper lors de l'opération avec la plus grande boucle et le plus long temps d'arc

F.P.P.C = facteur du premier pôle à couper

NOTE – L'injection de tension n'est autorisée que s'il n'existe aucune prescription relative à la TTRI ou si ces exigences sont couvertes par les essais de défaut proche en ligne.

Unit testing with the enclosure and one terminal of the circuit-breaker earthed is permissible, provided that the required voltage stress between the terminals and the enclosure has already been checked during the short-circuit tests.

5 Tests for three poles in one enclosure

5.1 Terminal fault tests

5.1.1 Test procedure

When a direct circuit is available to test the three-phase circuit-breaker, direct testing will cover all the stresses.

When a synthetic method is used, to ensure that the suitable stresses in the interrupting element and those between poles and to the enclosure are applied, the following general requirements shall be fulfilled.

- a) Full three-phase current shall be supplied to the three-pole circuit-breaker under test.

NOTE – Short-circuit test sequences nos 1, 2, and 3 may be performed in single-phase test circuits.

- b) Information about the required test circuits for test sequences 4 and 5 is given in table 2.

Table 2 – Information on test circuits for test sequences 4 and 5

F.P.C.F	Test duty 4		Test duty 5	
	First clearing pole	Other poles	First clearing pole	Other poles
1,5	Application of synthetic circuits of 4.2.1 or 4.2.2 of IEC 427 at all operations	Application of synthetic circuits of 4.2.1, 4.2.2 or 4.2.3 of IEC 427 at all operations	Application of 4.2.1 or 4.2.2 of IEC 427 for at least two operations. The third operation can be tested with 4.2.3	Application of 4.2.1 or 4.2.2 of IEC 427 at least to the operation with major extended loop and longest arcing time
1,3	Application of 4.2.1 or 4.2.2 of IEC 427 for at least two operations. The third operation can be tested with 4.2.3	Application of 4.2.1 or 4.2.2 of IEC 427 at least to the second clearing pole at the operation with the longest arcing time	Application of 4.2.1 or 4.2.2 of IEC 427 for at least two operations. The third operation can be tested with 4.2.3	Application of 4.2.1 or 4.2.2 of IEC 427 at least to the second clearing pole at the operation with major extended loop and longest arcing time

F.P.C.F = first-pole-to-clear factor

NOTE – Voltage injection is only permitted if there are no ITRV requirements, or if these requirements are covered by SLF testing.

c) Les contraintes maximales pour la TTR et la TR, entre les différents pôles et entre les pôles et l'enveloppe, sont données aux tableaux 3 et 4 (voir également les figures 9 et 10).

Ces contraintes peuvent être vérifiées en utilisant des circuits synthétiques tels que ceux décrits en 4.2.3 de la CEI 427.

En ce qui concerne la séquence d'essais n° 5, il est recommandé de se reporter à 6.106.5 de la CEI 427. La tension de rétablissement doit être alternative.

Tableau 3 – Séquences d'essais 1, 2, 3 et 4 – Facteur du premier pôle à couper: 1,5.
Valeurs de tension au cours de la coupure triphasée

Crête de TTR crête du premier pôle à couper %			Crête de TR pu	du/dt %
	Pour la coupure du premier pôle	Pour la coupure du second pôle		
Phases	a	0	1	70
	b	0	1	70
	c	100	1	100
Entre phases	a-b	115	1,732	
	b-c	58	1,732	
	c-a	58	1,732	
$u_c = \text{crête de TTR du premier pôle à couper} = 1,5 \cdot 1,4 U \sqrt{2/\sqrt{3}}$ $1 \text{ pu} = U \sqrt{2/\sqrt{3}}$ Le premier pôle à couper se situe sur la phase c.				

Tableau 4 – Séquence d'essais 1, 2, 3 et 4 – Facteur du premier pôle à couper: 1,3.
Valeurs de tension au cours de la coupure triphasée

Crête de TTR/crête du premier pôle à couper %				Crête de TR pu	du/dt %
	Pour la coupure du premier pôle	Pour la coupure du second pôle	Pour la coupure du troisième pôle		
Phases	a	0	77	1	70
	b	0	98	1	95
	c	100	/	1	100
Entre phases	a-b	98	98	1,732	
	b-c	89	/	1,732	
	c-a	/	91	1,732	
$u_c = \text{crête de TTR au niveau du premier pôle à couper} = 1,3 \cdot 1,4 U \sqrt{2/\sqrt{3}}$ $1 \text{ pu} = U \sqrt{2/\sqrt{3}}$ Le premier pôle à couper se situe sur la phase c.					

c) Between the different poles and between poles and the enclosure, the maximum stresses for TRV and RV are given in tables 3 and 4 (see also figures 9 and 10).

These stresses may be tested by using synthetic circuits of 4.2.3 of IEC 427.

For test duty 5, reference should be made to IEC 427, 6.106.5. The recovery voltage shall be a.c.

**Table 3 – Test duties 1, 2, 3 and 4 – First-pole-to-clear factor: 1,5.
Voltage values during 3-phase interruption**

TRV peak/TRV peak first pole %			RV peak pu	du/dt %
	At the instance of first-pole clearance	At the instance of second-pole clearance		
Phases	a	0	1	70
	b	0	1	70
	c	100	1	100
Between phases	a-b	0	1,732	
	b-c	100	1,732	
	c-a	100	1,732	
$u_c = \text{TRV peak first pole} = 1,5 \cdot 1,4 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$ $1 \text{ pu} = U \sqrt{2}/\sqrt{3}$ The first pole to clear is located on phase c.				

**Table 4 – Test duties 1, 2, 3 and 4 – First-pole-to-clear factor: 1,3.
Voltage values during 3-phase interruption**

TRV peak/TRV peak first pole %				RV peak pu	du/dt %
	At the instance of first-pole clearance	At the instance of second-pole clearance	At the instance of third-pole clearance		
Phases	a	0	77	1	70
	b	0	98	1	95
	c	100	/	1	100
Between phases	a-b	0	98	1,732	
	b-c	100	89	1,732	
	c-a	100	91	1,732	
$u_c = \text{TRV peak first pole} = 1,3 \cdot 1,4 U \sqrt{2}/\sqrt{3}$ $1 \text{ pu} = U \sqrt{2}/\sqrt{3}$ The first pole to clear is located on phase c.					

d) Conformément aux exigences de 6.105.1 de la CEI 56 et dans le but de réduire au minimum l'intervalle de temps et d'éviter aussi le changement du raccordement du circuit haute tension au disjoncteur entre les essais de chaque séquence d'essais. Toutes les durées d'arc requises doivent être appliquées sur la même phase.

e) Il est souhaitable d'appliquer toutes les contraintes mentionnées ci-dessus au cours du même essai. Lorsque cela se révèle impossible, une méthode d'essai en plusieurs parties peut être autorisée.

5.1.2 Circuits d'essais

Différents circuits présentant des caractéristiques différentes sont utilisés à l'heure actuelle.

Quelques circuits sont décrits ci-dessous; se reporter à 5.2 pour ce qui concerne la validité de ces circuits.

a) Circuit d'injection à transformateur triphasé

Ce circuit est représenté en figure 11. Il se compose d'un circuit triphasé et d'un circuit d'injection de tension alimentés par un transformateur, capables de fournir la TTR et la tension alternative de rétablissement au premier et au dernier pôle à couper.

b) Circuit combiné

Ce circuit est représenté en figure 12. Il se compose d'un circuit de courant triphasé.

La TTR et la tension alternative de rétablissement sont fournies par un circuit d'injection de courant ou de tension pour le premier pôle à couper, et par deux circuits identiques pour les derniers pôles à couper.

c) Injection dans toutes les phases

Le circuit se compose d'un circuit de courant triphasé et de deux ou trois circuits de tension. Les valeurs de tension doivent être choisies de sorte que l'isolation à la terre et l'isolation entre phases soient soumises à des contraintes appropriées au niveau des derniers pôles à couper.

Les figures 13a et 13b illustrent des exemples de circuits d'injection de courant ou de tension.

d) Circuit triphasé double

Le circuit représenté en figure 14 est une version triphasée du circuit monophasé double.

Ce circuit ne convient qu'aux essais diélectriques du disjoncteur; par conséquent, il ne peut être utilisé que s'il est combiné à d'autres circuits d'essais, lors d'essais en plusieurs pôles.

5.2 Essais de défaut proche en ligne

L'essai est fondé sur l'interruption de défaut monophasé à la terre comme pour l'enveloppe à pôle unique (voir en 4.2).

Par conséquent, un seul pôle doit être soumis aux contraintes exercées par le courant de court-circuit et la pleine tension.

Les prescriptions en 6.102.2 et 6.102.3 de la CEI 56 s'appliquent.

NOTE – Le cas particulier d'un défaut proche en ligne triphasée avec interaction magnétique entre phases est à l'étude.

- d) In accordance with the requirements of 6.105.1 of IEC 56, and with the aim to reduce to the minimum the time interval, and also to avoid changing the connection of the high-voltage circuit to the circuit-breaker between the tests of each test sequence, all the required arcing times shall be applied on the same phase.
- e) All the above stresses preferably should be applied in the same test. If this is impossible, a multi-part testing procedure may be allowed.

5.1.2 Test circuits

Different circuits are now used with different features.

In the following, some circuits are described; for the validity of these circuits refer to 5.2.

a) Three-phase transformer injection circuit

The circuit is shown in figure 11. It is formed by a three-phase circuit and a transformer fed voltage injection circuit, capable of giving the TRV and a.c. recovery voltages for the first and last clearing poles.

b) Combined circuit

The circuit is shown in figure 12. It is formed by a three-phase current circuit.

The TRV and a.c. recovery voltages for the first pole to clear are given by a current or voltage injection circuit, and by two duplicate circuits for the last clearing poles.

c) Injection in all phases

The circuit is formed by a three-phase current circuit and two or three voltage circuits. The voltage values shall be chosen so that both insulation to earth and between phases will be adequately stressed at the last clearing poles.

In figures 13a and 13b examples using current or voltage injection circuits are shown.

d) Three-phase duplicate circuit

The circuit shown in figure 14 is a three-phase version of the single-phase duplicate circuit.

This circuit is only suitable to test the circuit-breaker dielectrically, therefore it can be used only if combined with other test circuits when multi-part testing procedure is adopted.

5.2 Short-line fault tests

The test is based on the single-phase-to-earth fault interruption, as for the single-pole enclosure type (see 4.2).

Therefore, only one pole shall be stressed by the short-circuit current and full voltage.

Subclauses 6.102.2 and 6.102.3 of IEC 56 apply.

NOTE – The special situation of three-phase short-line fault with magnetic interaction between phases is under consideration.

5.3 Essais d'établissement et de coupure de courant capacitif

Il est recommandé d'effectuer des essais triphasés.

Dans le cas d'essais monophasés, il est nécessaire d'effectuer des essais diélectriques supplémentaires (voir en 4.3). Dans le cas d'essais triphasés, l'isolation à la terre et l'isolation entre phases doivent être prises en compte. Ces essais diélectriques peuvent être effectués séparément, dans la mesure où cela est requis.

Tableau 5 – Etablissement et coupure de courant capacitif dans des conditions réelles de fonctionnement: valeurs types de tension maximales

Tension entre bornes	Systèmes mis à la terre			Systèmes non reliés à la terre
	Batterie de condensateurs non mise à la terre pu	Batterie de condensateurs mise à la terre pu	Lignes pu	
A-terre	1,0	1,0	1,0	1,5
A'-terre	1,5	1,0	1,2	1,0
A-A'	2,5	2,0	2,2	2,5
A'-B'	≤1,73	≤1,73	≤1,73	≤1,73
A'-C'	2,37	2,0	2,1	2,37
B'-C'	≤1,73	2,0	1,9	≤1,73
A-B'	1,87	2,0	2,0	1,87
A-C'	1,87	2,0	1,9	1,87
B-A'	2,5	2,0	2,2	2,5
B-C'	1,87	2,0	1,9	1,87
C-A'	2,5	2,0	2,2	2,5
C-B'	1,87	2,0	2,0	1,87
A-A' Premier pôle à couper A = Côté source A' = Côté charge				
NOTES 1 Les valeurs indiquées pour un système isolé s'appliquent si la capacité de l'impédance homopolaire du circuit d'alimentation est négligeable par rapport à celle du circuit de charge. 2 $1 \text{ pu} = U \sqrt{2} / \sqrt{3}$ Les pôles B et C coupent aux premiers passages par zéro du courant après la coupure du pôle A. Les valeurs de tension pour A-B, A-C et B-C sont dans tous les cas égales à $U \sqrt{2}$. Les tensions B-terre, B'-terre et B-B' et C-terre, C'-terre et C-C' ne sont pas dans le tableau parce que leurs valeurs sont plus faibles que celles du pôle A.				

NOTE – L'établissement et la coupure de courant capacitif en combinaison avec une situation de défaut monophasé à la terre est à l'étude.

5.4 Essai d'établissement et de coupure en discordance de phases

Il est possible d'effectuer des essais monophasés: les essais triphasés ne sont pas considérés comme nécessaires étant donné les valeurs relativement faibles des courants et de la tension par rapport à l'enveloppe du fait du partage de la tension entre les deux côtés du disjoncteur.

5.3 Capacitive current switching tests

Three-phase testing is preferred.

In the case of single-phase testing, some extra dielectric tests are necessary (see 4.3). In the three-phase situation, both the insulation to earth and between poles have to be considered. These dielectric tests, as far as required, may be carried out separately.

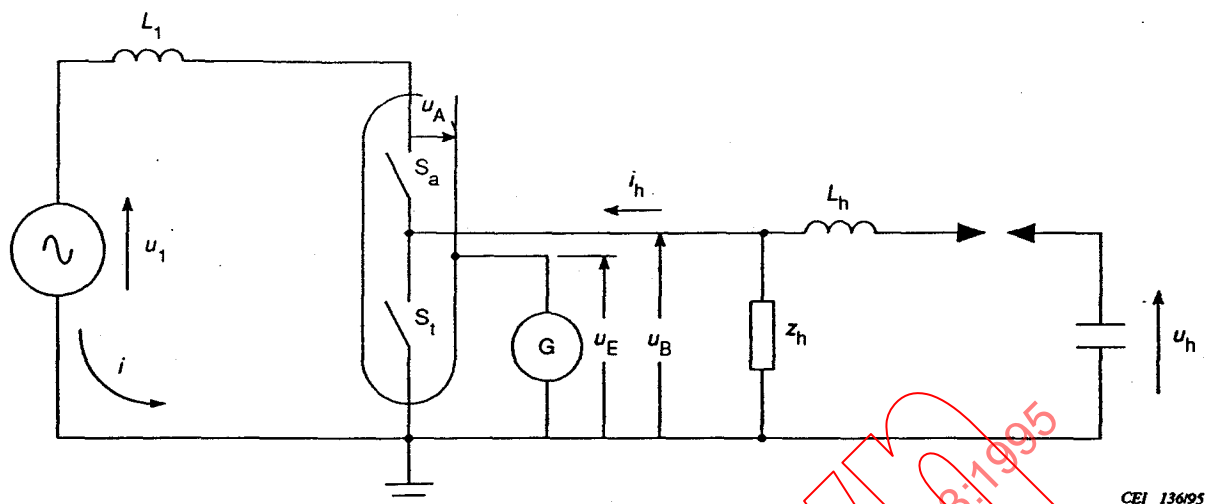
**Table 5 – Capacitive current switching in actual service conditions:
maximum typical voltage values**

Voltage between terminals	Earthed systems			Unearthed systems
	Unearthed capacitor banks	Earthed capacitor banks	Lines	
	pu	pu	pu	pu
A-earth	1,0	1,0	1,0	1,5
A'-earth	1,5	1,0	1,2	1,0
A-A'	2,5	2,0	2,2	2,5
A'-B'	≤1,73	≤1,73	≤1,73	≤1,73
A'-C'	2,37	2,0	2,1	2,37
B'-C'	≤1,73	2,0	1,9	≤1,73
A-B'	1,87	2,0	2,0	1,87
A-C'	1,87	2,0	1,9	1,87
B-A'	2,5	2,0	2,2	2,5
B-C'	1,87	2,0	1,9	1,87
C-A'	2,5	2,0	2,2	2,5
C-B'	1,87	2,0	2,0	1,87
A-A' First pole to clear A = Source side A' = Load side				
NOTES 1 The indicated values for unearthed systems apply if the source-side zero sequence capacitance is negligible compared to that of the load side. 2 $1 \text{ pu} = U\sqrt{2}/\sqrt{3}$ Poles B and C clear at the first current zeros after the clearance of pole A. The voltage value for A-B, A-C and B-C are in all cases equal to $U\sqrt{2}$. The voltages B-earth, B'-earth, B-B' and C-earth, C'-earth and C-C' are not incorporated in the table, because their values are lower than those for pole A.				

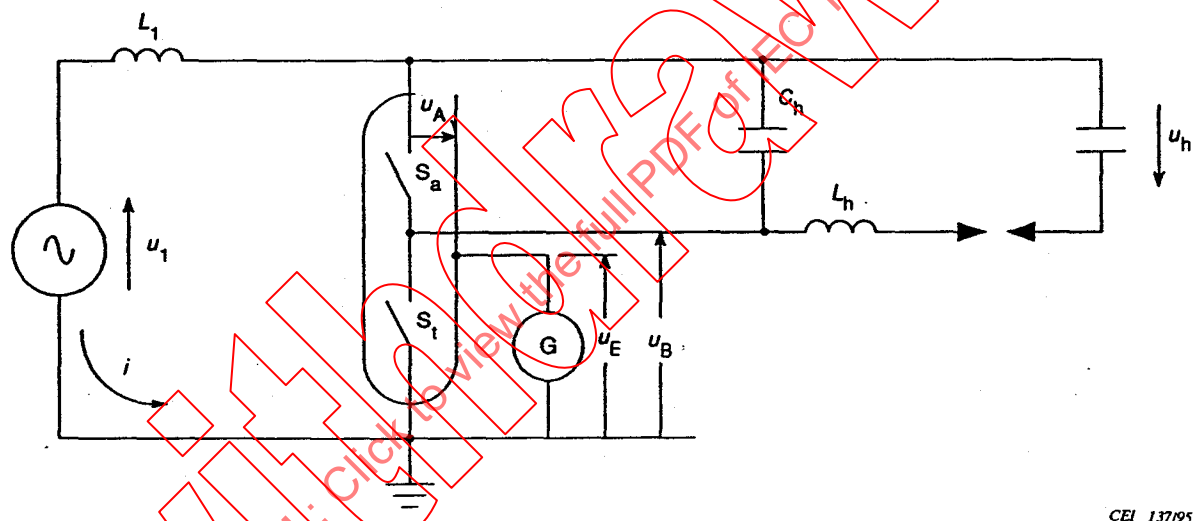
NOTE – Capacitive current switching in combination with a single-phase earth fault condition is under consideration.

5.4 Out-of-phase switching test

Single-phase testing may be used: three-phase testing is considered not to be necessary because of relatively small currents and relatively low voltage to the enclosure, due to the sharing between both sides of the breaks.



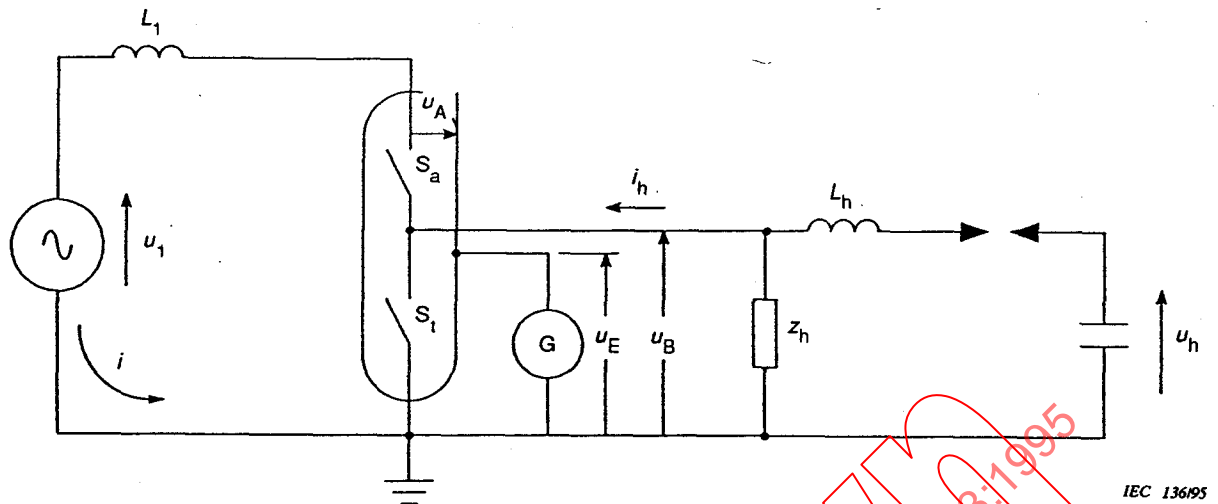
1a – Exemple type de circuit à injection de courant avec circuit de tension en parallèle avec la ou les unités soumises à l'essai



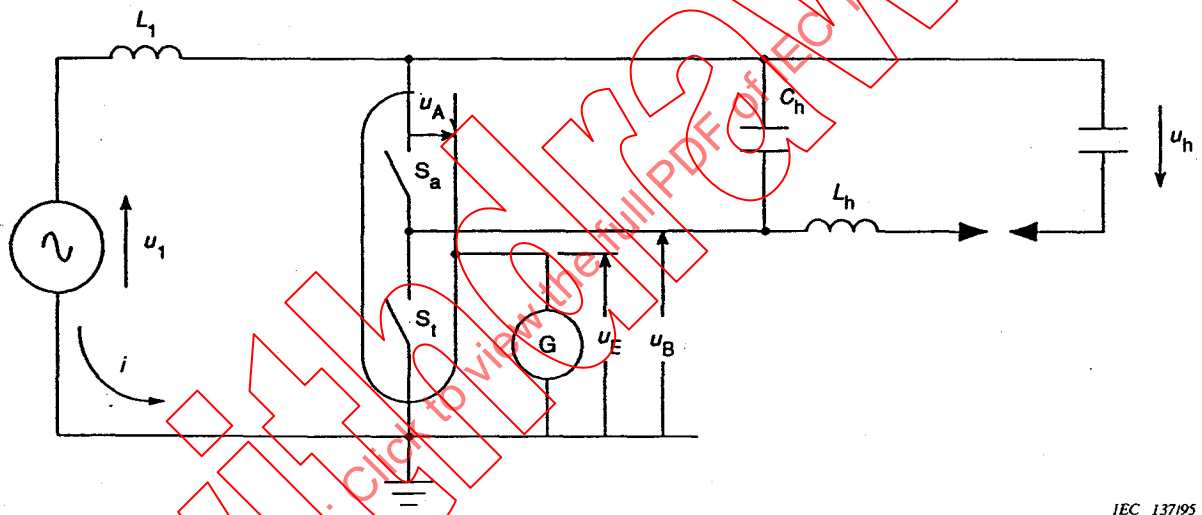
1b – Exemple type de circuit à injection de tension avec circuit de tension en parallèle avec la ou les unités utilisées comme disjoncteur auxiliaire

- S_a = unité(s) du disjoncteur utilisée(s) comme disjoncteur auxiliaire
- S_t = unité(s) du disjoncteur utilisée(s) comme disjoncteur d'essai
- G = source d'alimentation de u_E , appliquée à l'enveloppe
- u_1 = tension du circuit de courant
- i = courant du circuit de courant
- i_h = courant injecté
- L_h = inductance du circuit de tension
- Z_h = impédance caractéristique équivalente du circuit de tension
- C_h = capacité du circuit de tension qui règle la plus grande partie de la TTR avec L_h

Figure 1 – Circuit d'essai pour essais par éléments séparés (disjoncteur avec interaction due à la circulation de gaz)



1a - Typical injection circuit with voltage circuit in parallel with the unit(s) under test



1b - Typical injection circuit with voltage circuit in parallel with the unit(s) used as auxiliary breaker

S_a = unit(s) of the circuit-breaker used as auxiliary circuit-breaker

S_t = unit(s) of the circuit-breaker used as test circuit-breaker

G = source for supply of u_E , applied to the enclosure

u_1 = voltage of the current circuit

i = current of the current circuit

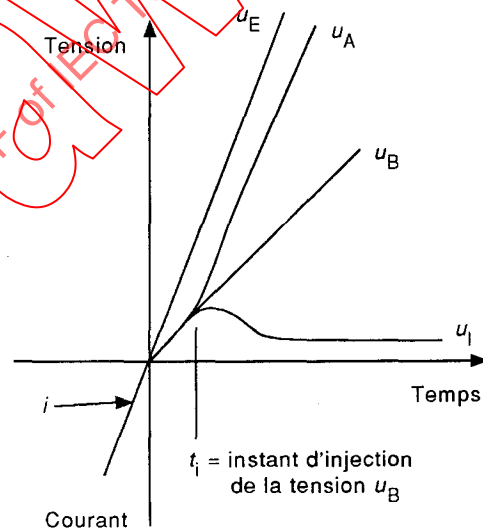
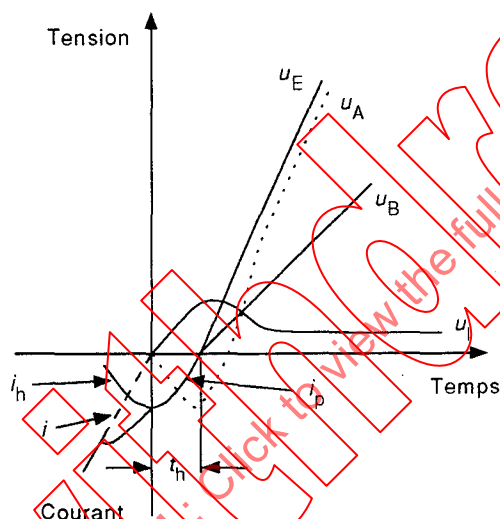
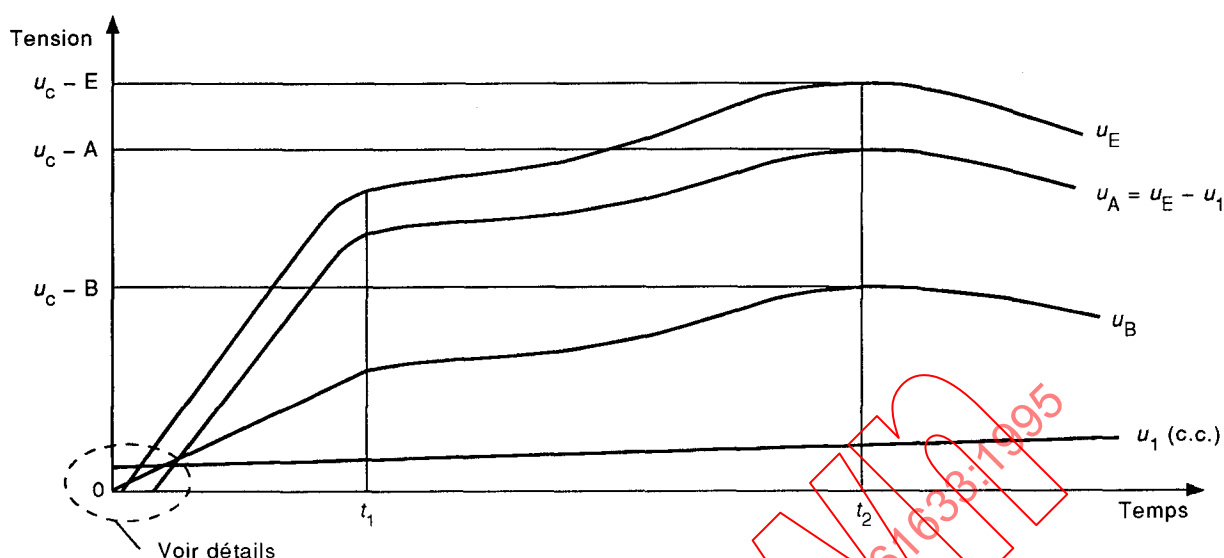
i_h = injected current

L_h = inductance of voltage circuit

Z_h = equivalent surge impedance of voltage circuit

C_h = capacitance of voltage circuit which, together with L_h , controls the major part of the TRV

Figure 1 - Test circuit for unit testing (circuit-breaker with interaction due to gas circulation)



CEI 138/95

Exemples types d'ondes de la tension dans un circuit d'injection de courant, conformément aux figures BB1 et BB2 de la CEI 427, avec le circuit de tension en parallèle avec l'unité (les unités) soumise(s) à l'essai.

Exemples types de formes d'onde de tension dans un circuit d'injection de tension, conformément aux figures CC1 et CC2 de la CEI 427, avec circuit de tension en parallèle avec l'unité (les unités) utilisée(s) comme disjoncteur l'essai.

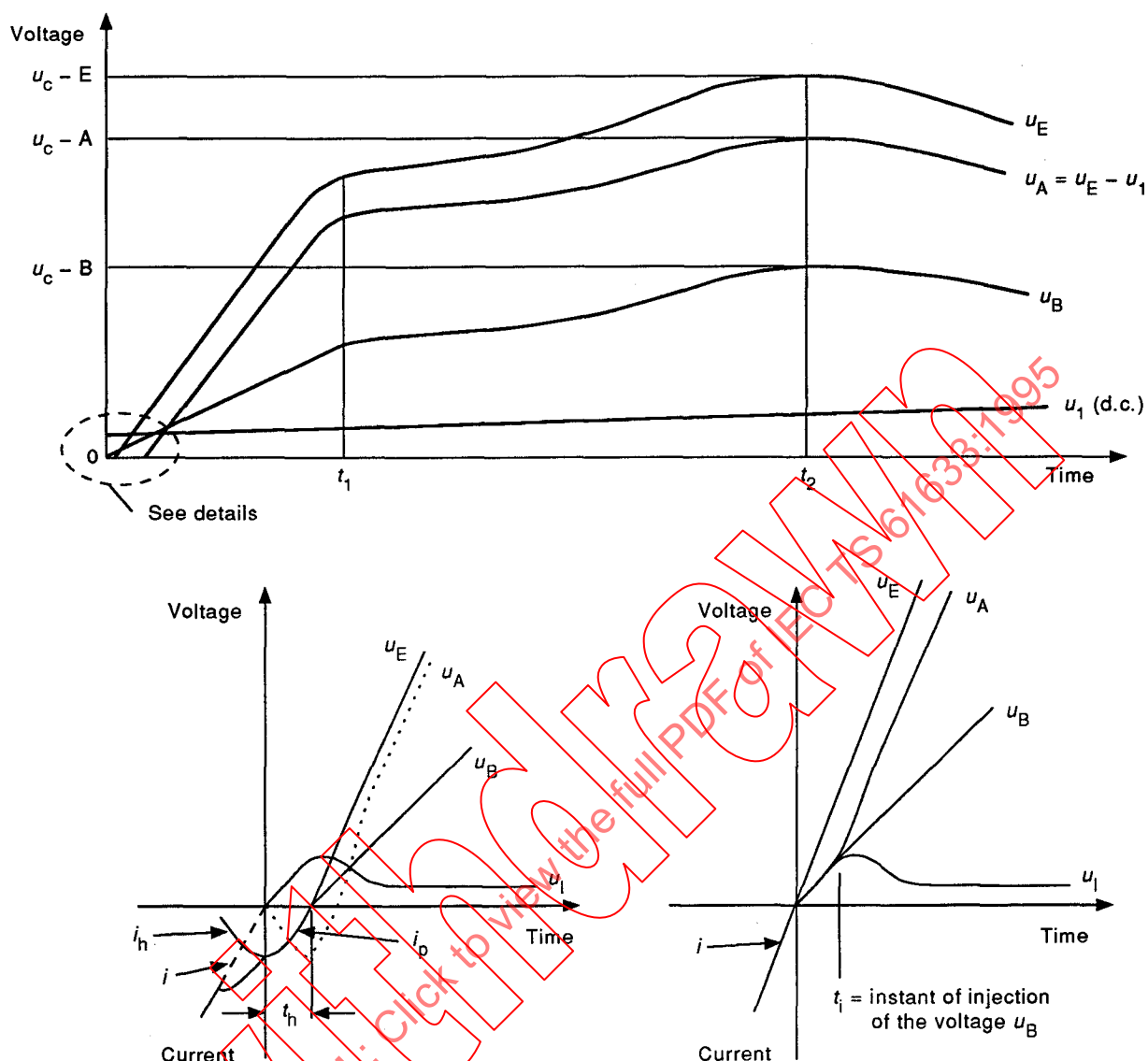
u_E = tension appliquée à l'enveloppe isolée

u_B = tension appliquée à l'intervalle de contact de l'unité (des unités) soumise(s) à l'essai (tension résultante entre la borne non mise à la terre de l'unité soumise à l'essai et l'enveloppe; on suppose une répartition linéaire de la tension entre les unités).

u_1 = tension du circuit de courant

u_A = tension résultante entre la borne de l'unité (des unités) auxiliaire(s) connectée(s) au circuit de courant et l'enveloppe.

Figure 2 – Essais d'un demi-pôle d'un disjoncteur dans le circuit d'essais de la figure 1. Exemple des TTR requises devant être appliquées entre les bornes de l'unité (des unités) soumise(s) à l'essai et entre les éléments sous tension et l'enveloppe isolée

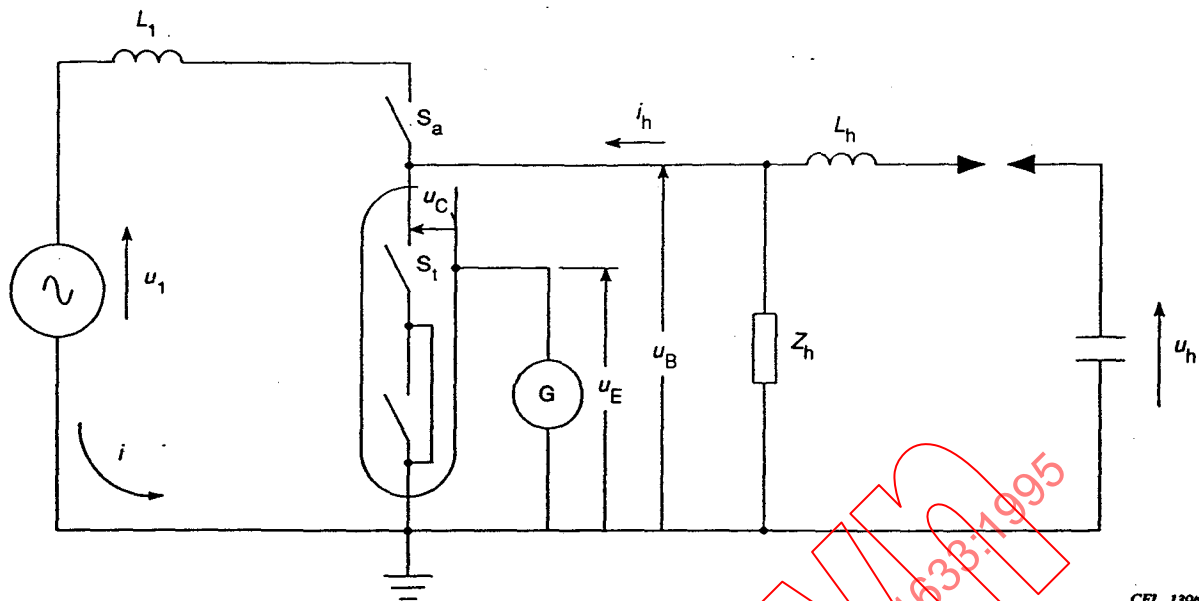


Typical voltage wave shapes in a current injection circuit, in accordance with figures BB1 and BB2 of IEC 427, with the voltage circuit in parallel with the unit(s) used as test circuit-breaker.

Typical voltage wave shapes in a voltage injection circuit, in accordance with figures CC1 and CC2 of IEC 427, with the voltage circuit in parallel with the unit(s) used as auxiliary circuit-breaker.

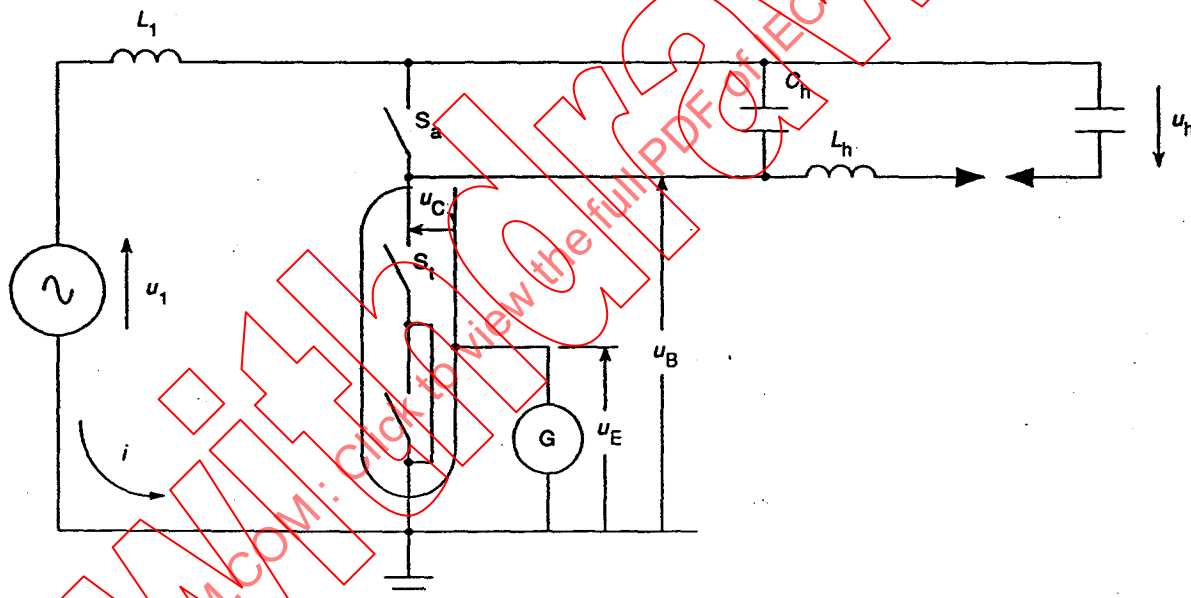
- u_E = voltage applied to the insulated enclosure
- u_B = voltage applied to the contact gap of the unit(s) under test (resulting voltage between the terminal not earthed of the unit under test and the enclosure; a linear distribution of the voltage between the units is assumed)
- u_1 = voltage of the current circuit
- u_A = resulting voltage between the terminal of the auxiliary unit(s) connected to the current circuit and the enclosure

**Figure 2 – Half-pole testing of a circuit-breaker in test circuit of figure 1.
Example of the required TRVs to be applied between the terminals
of the unit(s) under test and between the live parts and the
insulated enclosure**



CEI 139/95

3a – Exemple type de circuit à injection de courant avec circuit de tension en parallèle avec l'unité (les unités) soumise(s) à l'essai

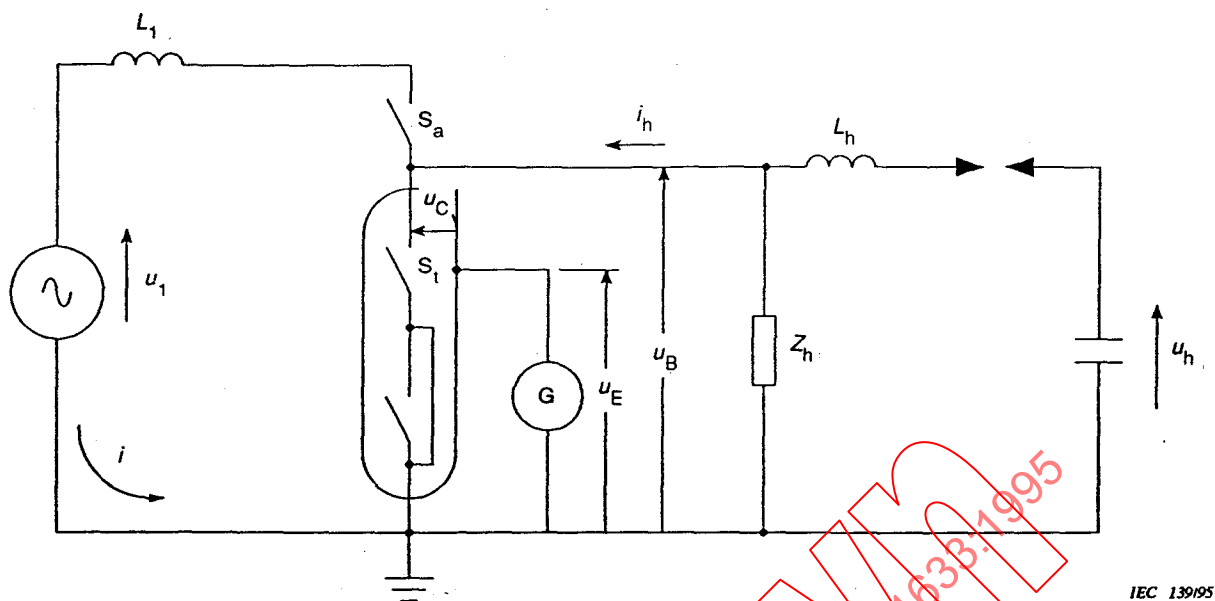


CEI 140/95

3b – Exemple type de circuit à injection de tension avec circuit de tension en parallèle avec le disjoncteur auxiliaire

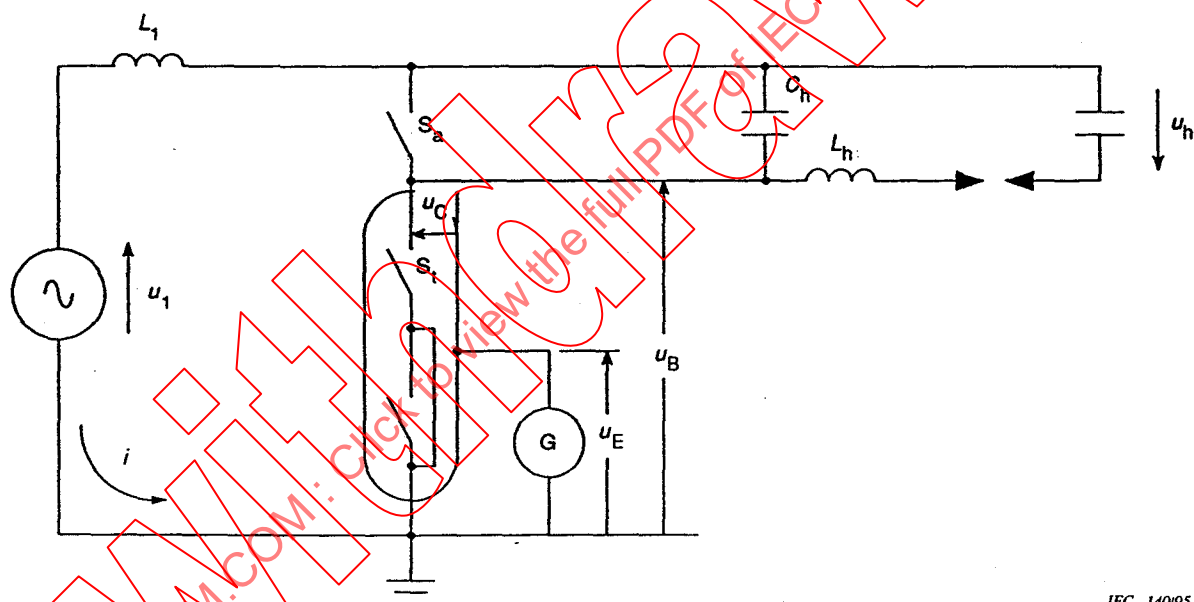
- S_a = disjoncteur auxiliaire
- S_t = unité(s) du disjoncteur soumise(s) à l'essai
- G = source d'alimentation de u_E , appliquée à l'enveloppe
- u_1 = tension du circuit de courant
- i = courant du circuit de courant
- i_h = courant injecté
- L_h = inductance du circuit de tension
- Z_h = impédance caractéristique équivalente du circuit de tension
- C_h = capacité du circuit de tension qui règle la plus grande partie de la TTR avec L_h

Figure 3 – Circuit d'essai pour essais par éléments séparés (disjoncteur avec interaction négligeable due à la circulation de gaz)



IEC 139/95

3a - Typical injection circuit with voltage circuit in parallel with the unit(s) under test

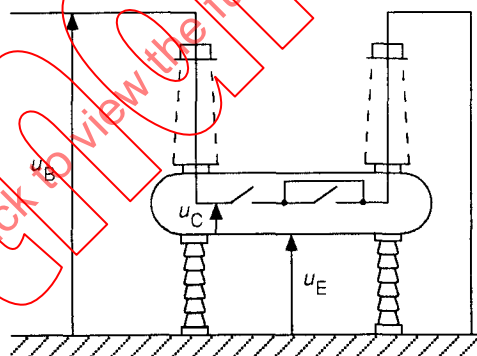
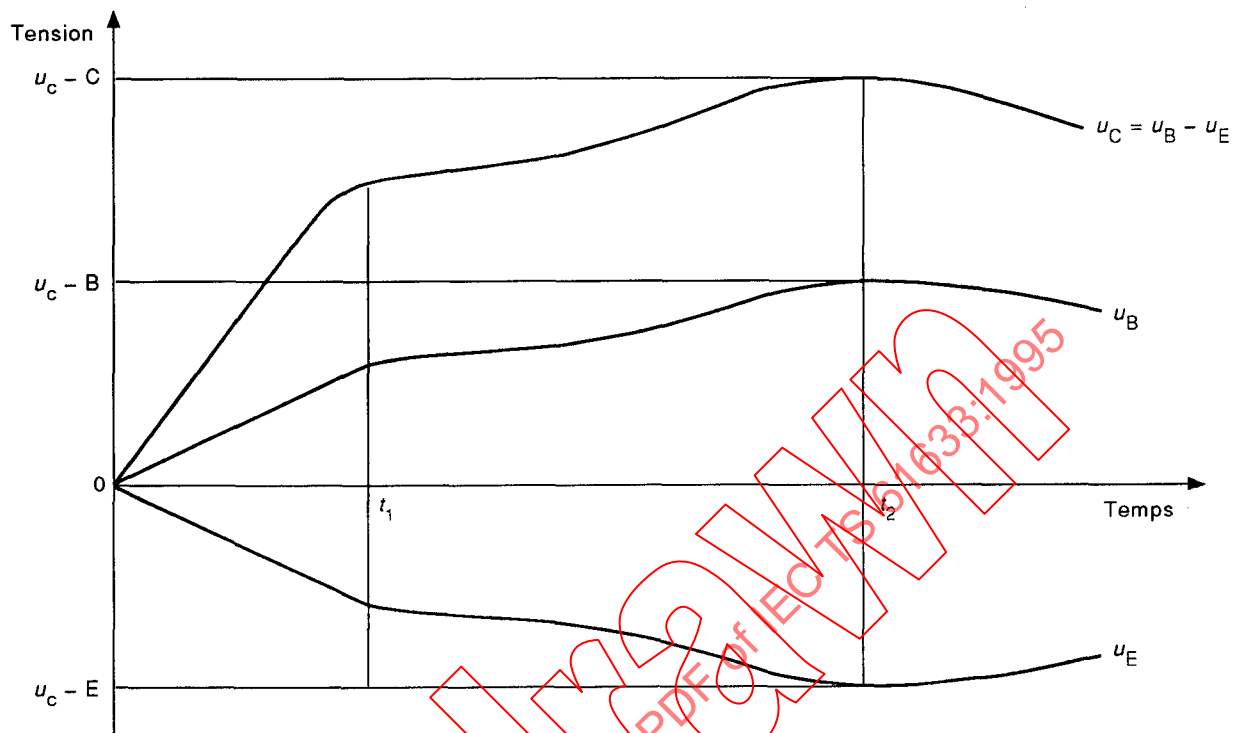


IEC 140/95

3b - Typical injection circuit with voltage circuit in parallel with the auxiliary circuit-breaker

 S_a = auxiliary circuit-breaker S_t = unit (s) of the circuit-breaker under test G = source for supply of u_E , applied to the enclosure u_1 = voltage of the current circuit i = current of the current circuit i_h = injected current L_h = inductance of voltage circuit Z_h = equivalent surge impedance of voltage circuit C_h = capacitance of voltage circuit which together with L_h controls the major part of the TRV

Figure 3 - Synthetic test circuit for unit testing (circuit-breaker with negligible interaction due to gas circulation)



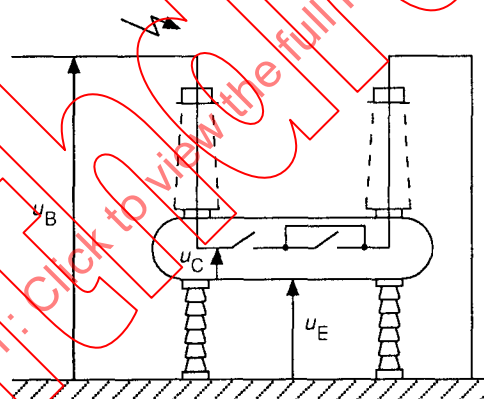
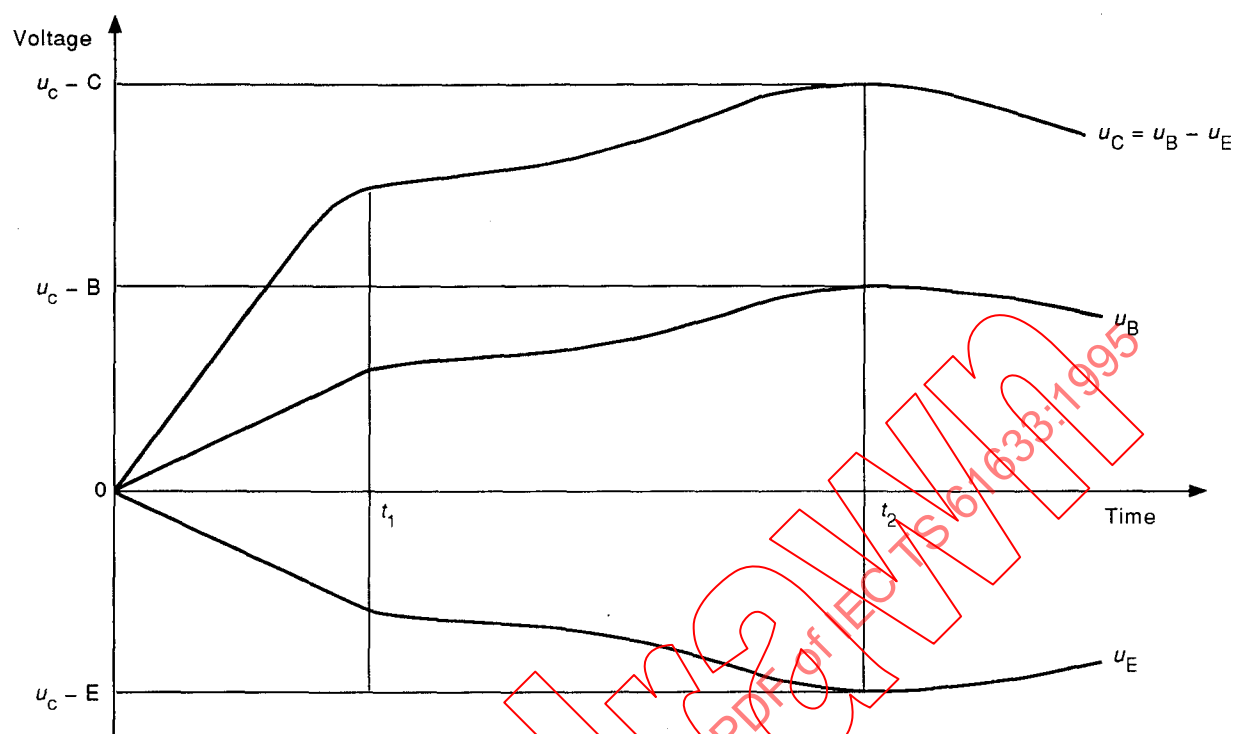
CEI 141/95

u_E = tension appliquée à l'enveloppe isolée

u_B = tension appliquée à l'intervalle de contact de la ou des unités soumises à l'essai

u_C = tension résultante entre la borne sous tension de la ou des unités soumises à l'essai et l'enveloppe

**Figure 4 – Essais d'un demi-pôle d'un disjoncteur dans l'essai de la figure 3.
Exemple de TTR requises devant être appliquées entre les bornes de
la ou des unités soumises à l'essai et entre les éléments sous tension
et l'enveloppe isolée**



IEC 141/95

- u_E = voltage applied to the insulated enclosure
 u_B = voltage applied to the contact gap of the unit(s) under test
 u_C = resulting voltage between the energized terminal of the unit(s) under test and the enclosure

**Figure 4 – Half-pole testing of a circuit-breaker in the test of figure 3.
Example of the required TRVs to be applied between the terminals
of the unit(s) under test and between the live parts and the
insulated enclosure**



Figure 5b – Formes d'onde quantitatives du courant et de la tension

Figure 5 – Circuit d'injection de courant synthétique capacitif avec enveloppe du disjoncteur sous tension

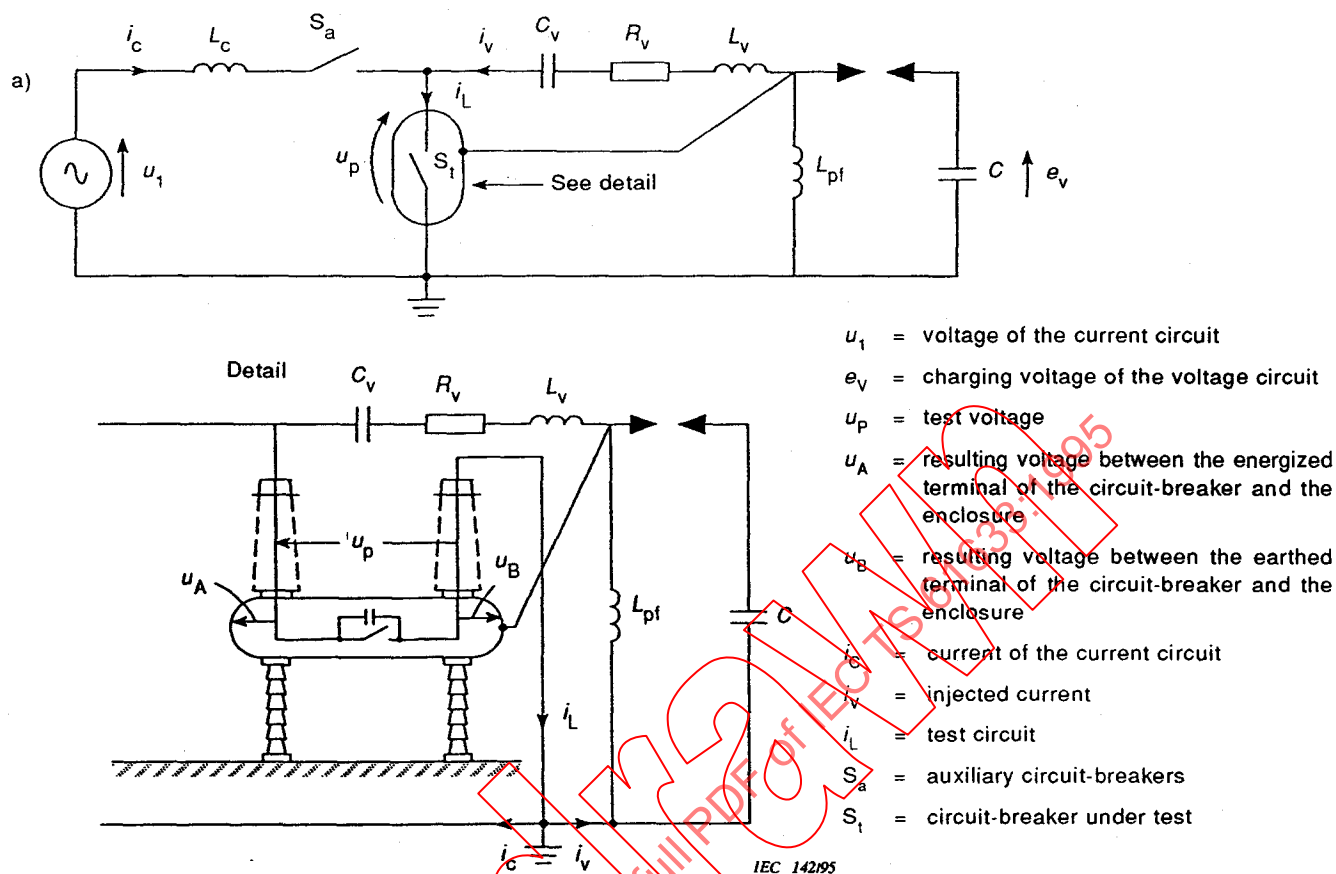
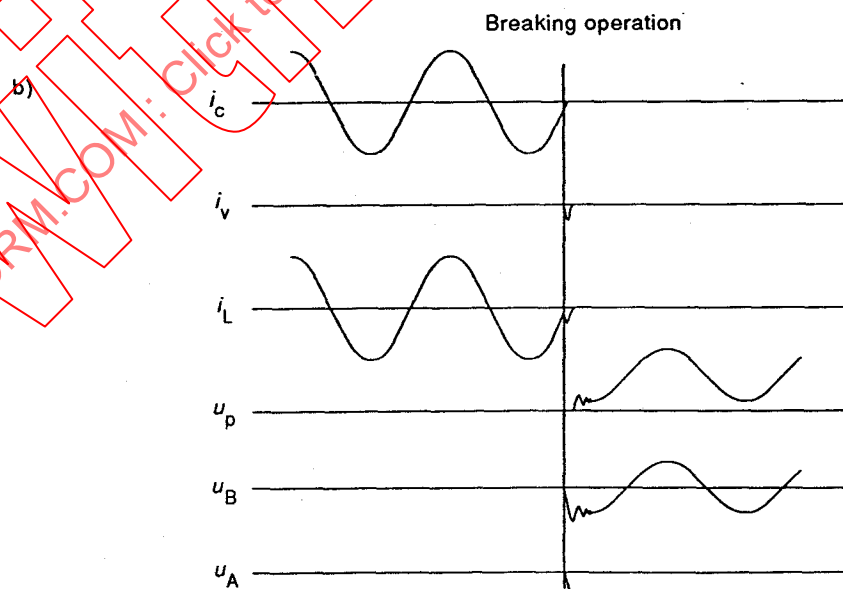


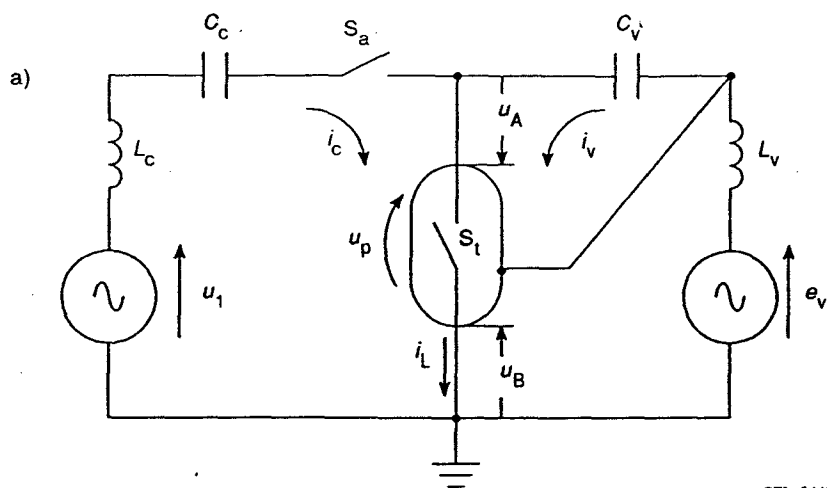
Figure 5a - General lay-out of the test circuit



IEC 143/95

Figure 5b - Qualitative current and voltage wave shapes

Figure 5 - Capacitive synthetic current injection circuit with enclosure of the circuit-breaker energized

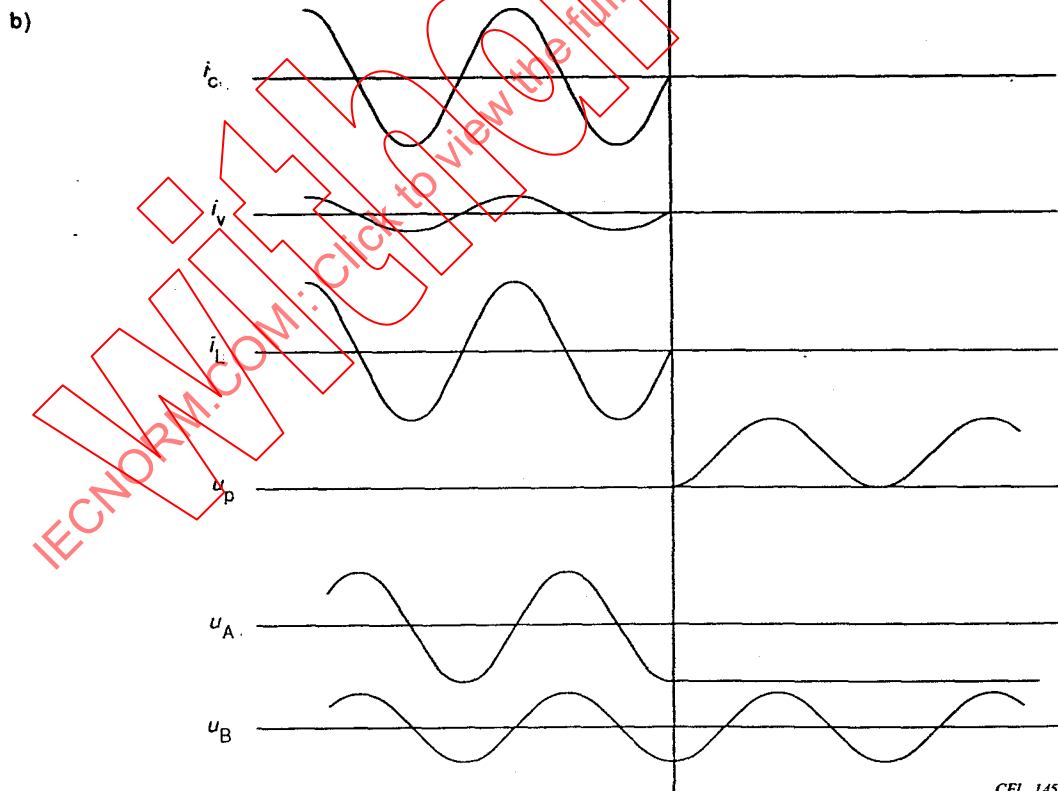


- u_1 = tension du circuit de courant
- e_v = tension de charge du circuit de tension
- u_p = tension d'essai
- u_A = tension résultante entre la borne sous tension du disjoncteur et l'enveloppe
- u_B = tension résultante entre la borne mise à la terre du disjoncteur et l'enveloppe
- i_c = courant du circuit de courant
- i_v = courant du circuit de tension
- i_L = courant d'essai
- S_a = disjoncteurs auxiliaires
- S_t = disjoncteur soumis à l'essai

CEI 144/95

Figure 6a – Plan général du circuit d'essai

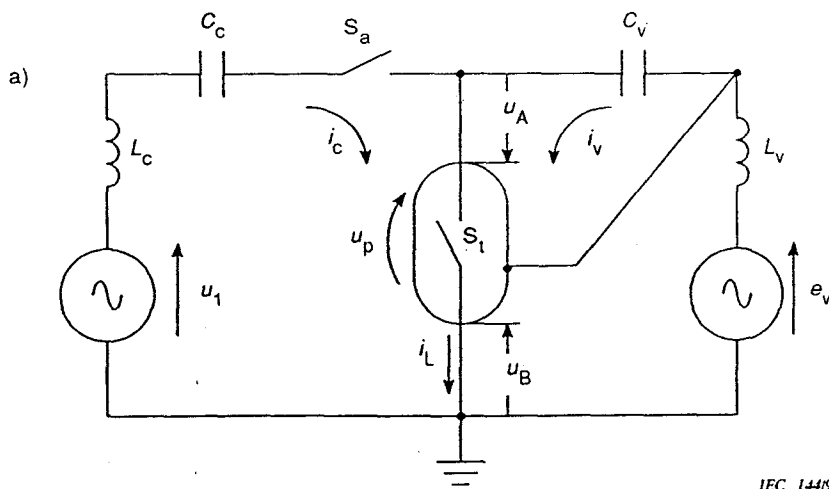
Manoeuvre de coupure



CEI 145/95

Figure 6b – Formes d'onde quantitatives du courant et de la tension

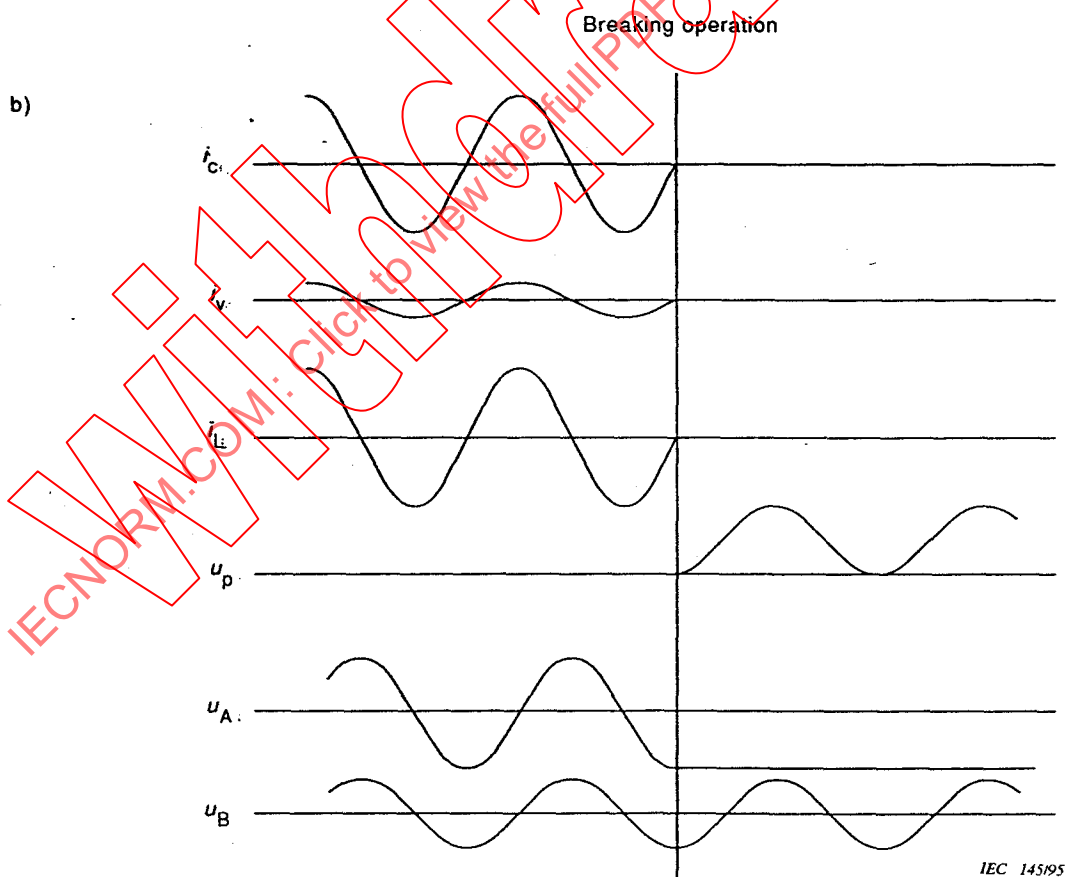
Figure 6 – Circuit synthétique capacitif utilisant deux sources alternatives et avec l'enveloppe du disjoncteur sous tension



- u_1 = voltage of the current circuit
 e_v = voltage of the voltage circuit test voltage
 u_p = test voltage
 u_A = resulting voltage between the energized terminal of the circuit-breaker and the enclosure
 u_B = resulting voltage between the earthed terminal of the circuit-breaker and the enclosure
 i_c = current of the current circuit
 i_v = current of the voltage circuit
 i_L = test current
 S_a = auxiliary circuit breakers
 S_t = circuit-breaker under test

IEC 144/95

Figure 6a – General lay-out of the test circuit



IEC 145/95

Figure 6b – Qualitative current and voltage wave shapes

Figure 6 – Capacitive synthetic circuit using two power frequency sources and with the enclosure of the circuit-breaker energized

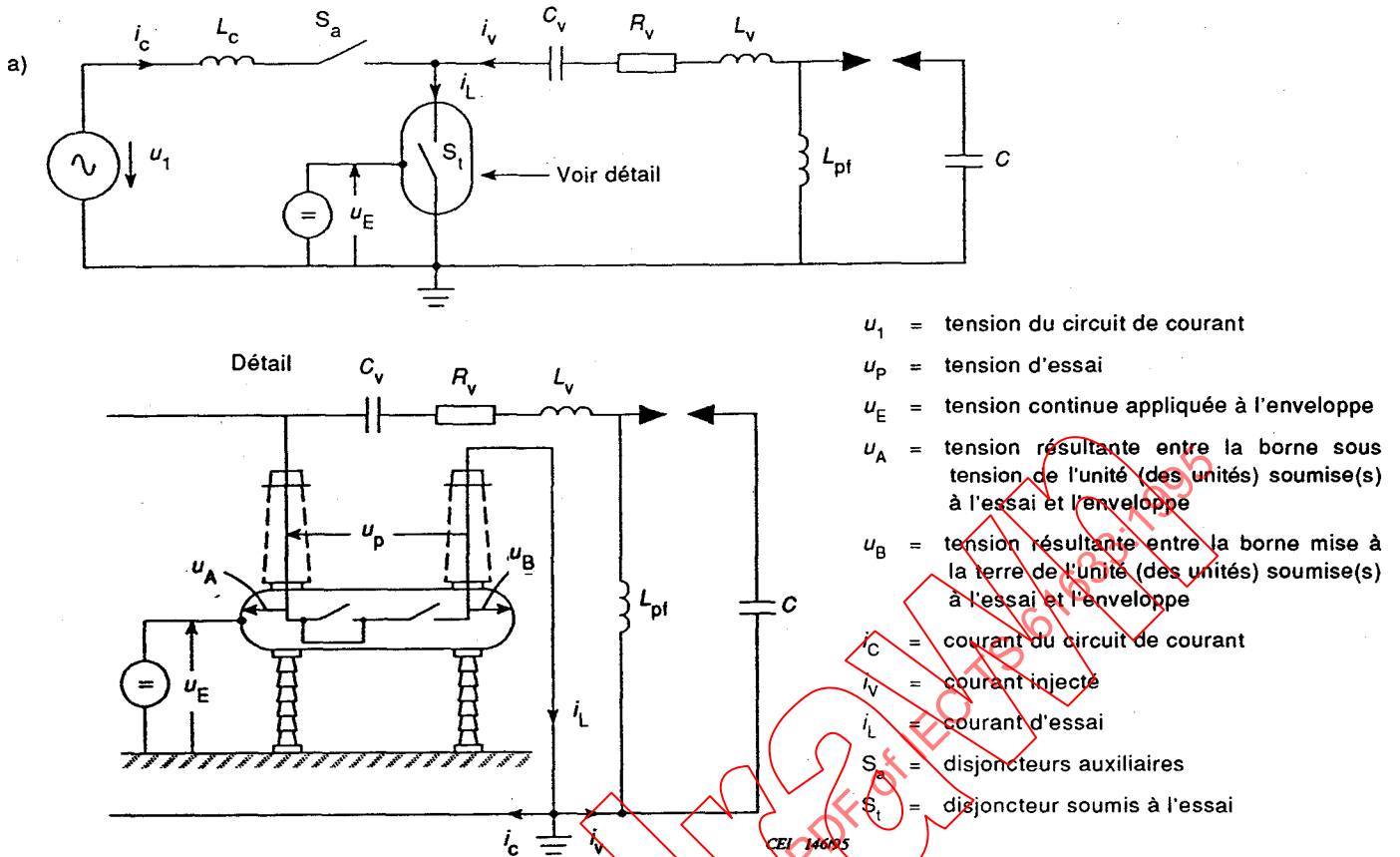
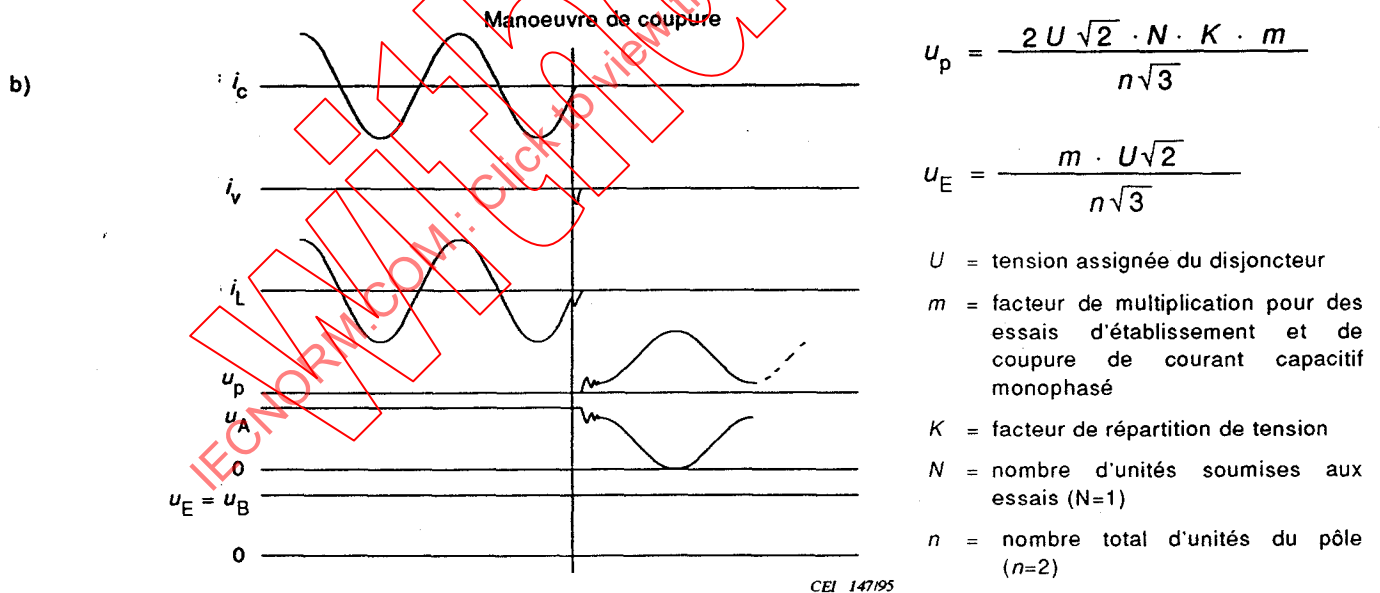


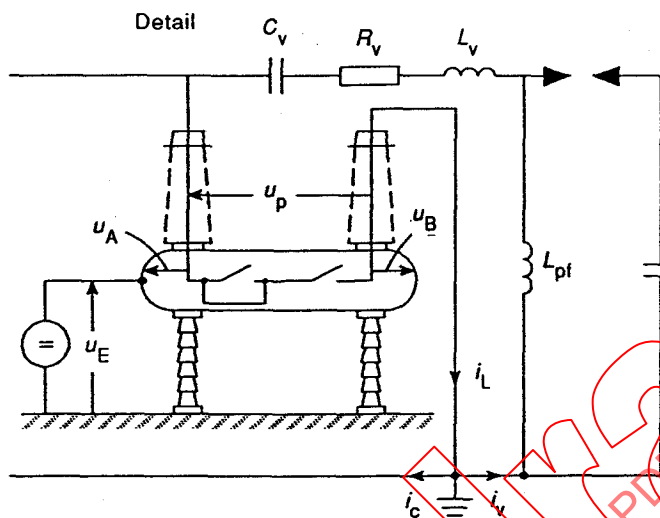
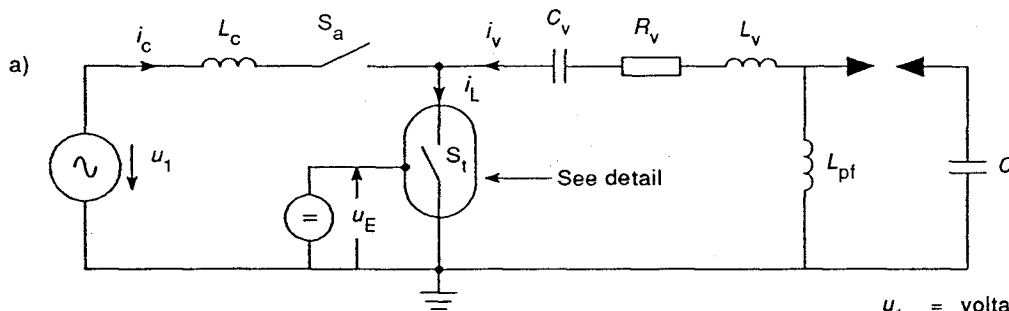
Figure 7a - Plan général du circuit d'essai



NOTE - u_E doit avoir la même polarité que la tension d'essai u_p .

Figure 7b - Formes d'onde quantitatives du courant et de la tension

Figure 7 - Circuit d'injection de courant synthétique capacitif.
 Exemple d'essais d'un demi-pôle d'un disjoncteur ayant deux unités par pôle. Enveloppe alimentée par une source de tension continue



u_1 = voltage of the current circuit

u_p = test voltage

u_E = d.c. voltage applied to the insulated enclosure

u_A = resulting voltage between the energized terminal of the unit(s) under test and the enclosure

u_B = resulting voltage between the earthed terminal of the unit(s) under test and the enclosure

i_c = current of the current source

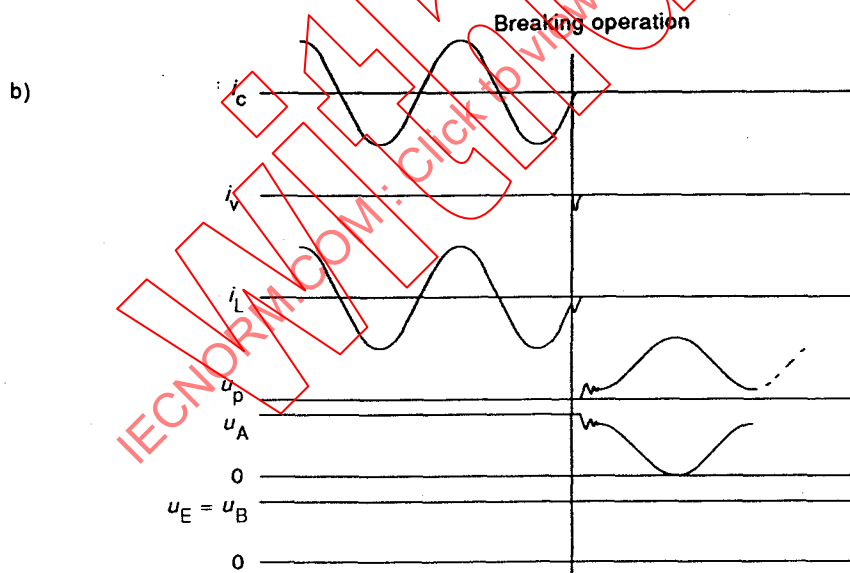
i_v = injected current

i_L = test current

S_a = auxiliary circuit-breakers

S_t = circuit-breaker under test

Figure 7a - General lay-out of the test circuit



$$u_p = \frac{2U\sqrt{2} \cdot N \cdot K \cdot m}{n\sqrt{3}}$$

$$u_E = \frac{m \cdot U\sqrt{2}}{n\sqrt{3}}$$

U = rated voltage of the circuit-breaker

m = multiplying factor for the single phase capacitive current switching tests

K = voltage distribution factor

N = number of units under tests ($N=1$)

n = total number of units of a pole ($n=2$)

NOTE - u_E shall have the same polarity as the test voltage u_p .

Figure 7b - Qualitative current and voltage wave shapes

Figure 7 - Capacitive synthetic current injection circuit. Example of unit testing on half a pole of a circuit-breaker with two units per pole. Enclosure energized with a d.c. voltage source



- u_1 = tension du circuit de courant
 u_A = tension appliquée à l'une des bornes du disjoncteur soumis à l'essai
 u_B = tension appliquée à l'autre borne du disjoncteur soumis à l'essai
 u_p = tension d'essai
 I = courant dans le disjoncteur en essai
 S_a = disjoncteur auxiliaire
 S_t = disjoncteur en essai
 L_s = inductances du circuit de courant

Figure 8 – Circuit d'essai synthétique symétrique pour les essais d'établissement et de coupure en discordance de phases d'un pôle complet de disjoncteur